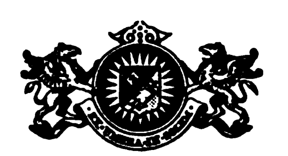

re Schriften
von
dwig Boltzmann



Populäre Schriften

von

Dr. Ludwig Boltzmann
o. Professor an der Universität Wien



Leipzig
Verlag von Johann Ambrosius Barth
1905



Spamersche Buchdruckerei in Leipzig

Den Manen Schillers

des unübertroffenen Meisters der naturwahren Schilderung
echter, aus tiefstem Herzen kommender Begeisterung

gewidmet

hundert Jahre nach
dessen Eingang in die Unsterblichkeit

forwort.

ich musste mir in meinen lezten büchern di neue ortografi gefallen lassen, di zu erlernen ich zu alt bin; so möge man sich hir im forworte di neueste ortografi gefallen lassen. ich glaube, man soll di abweichungen fon der fonetik, wenn man si nicht ganz ferschonen will, dann schon alle hinrichten. wenn man dem hunde den schwanz nicht lassen will, schneide man in mit einem griffe ganz ab!

ich habe im forligenden buche über eine fom ferleger an mich ergangene aufforderung meine populären schriften zusammengestellt. si sind fon ser ferschidenem inhalte, teils reden, teils populärwissenschaftliche forträge, abhandlungen mer filosofischen inhalts, rezensionen etc.

obwol natürlich meine anschauungen im ferlaufe der zeit modifikazionen erfaren haben, und ich heute fileicht nicht mer alles so schreiben würde, so habe ich doch alles unferändert gelassen, da es offenbar immer nur ein bild meiner damaligen anschauungen geben kann und soll.

di forangestellte widmung ist keine frase. ich danke den werken göthe's, dessen faust fileicht das grösste aller kunstwerke ist und dem ich di mottos meiner ersten bücher entnommen, shakespeares etc. di höchste geistige erhebung; aber bei schiller ist es etwas anders, durch schiller bin ich geworden, one in könnte es einen mann mit gleicher bart- und nasenform wi ich, aber nimals mich geben.

wenn ein zweiter einen einfluss von gleicher grössenordnung auf mich ausgeübt hat, so ist es beethoven. aber ist es nicht karakteristisch, dass lezterer in seinem grössten werke zum schlusse schillern, und zwar nicht dem ausgereiften, sondern dem in jugendlicher begeisterung sprudelnden schiller das wort erteilt?

Wien, den 8. Juni 1905.

Ludwig Boltzmann.

Inhalt.

1.

Über die Methoden der theoretischen Physik.

Von der Redaktion des Katalogs[1]) aufgefordert, dieses Thema zu behandeln, sah ich alsbald, daß nur wenig Neues zu sagen bleibt; so vieles und gediegenes wurde gerade in neuerer Zeit hierüber geschrieben. Ist ja doch für unsere Zeit eine fast übertriebene Kritik der Methoden der naturwissenschaftlichen Forschung charakteristisch; eine potenzierte Kritik der reinen Vernunft möchte man sagen, wenn dieses Wort nicht vielleicht all zu unbescheiden wäre. Es kann auch nicht meine Absicht sein, diese Kritik nochmals zu kritisieren; nur einige orientierende Worte will ich für jene bringen, welche diesen Fragen ferner stehen, aber doch Interesse dafür hegen.

In der Mathematik und Geometrie war es zunächst unzweifelhaft das Bedürfnis nach Arbeitersparnis, welches von den rein analytischen wieder zu den konstruktiven Methoden sowie zur Veranschaulichung durch Modelle führte. Scheint dieses Bedürfnis auch ein rein praktisches, selbstverständliches, so befinden wir uns doch gerade hier schon auf einem Boden, wo eine ganze Gattung modern methodologischer Spekulationen emporwuchs, die in der präzisesten, geistreichsten Weise von Mach zum Ausdrucke gebracht wurden. Dieser behauptet geradezu, der Zweck der Wissenschaft sei nur Arbeitersparnis.

Fast mit gleichem Rechte könnte man, bemerkend, daß bei Geschäften die größte Ersparnis wünschenswert ist, diese einfach für den Zweck der Verkaufsbuden und des Geldes

1) Katalog mathematischer und mathem.-physikalischer Modelle, Apparate und Instrumente, herausg. im Auftrage des Vorstandes der Deutschen Mathematiker-Vereinigung von W. Dyck. München 1892.

erklären, was ja in gewissem Sinne in der Tat richtig wäre. Doch wird man nur ungern, wenn die Distanzen und Bewegungen, die Größe, physikalische und chemische Beschaffenheit der Fixsterne ergründet, wenn Mikroskope erfunden und damit die Urheber unserer Krankheiten entdeckt werden, dies als bloße Sparsamkeit bezeichnen.

Allein es ist am Ende Sache der Definition, was man als Aufgabe, was als Mittel zu deren Erreichung bezeichnet. Hängt es ja sogar von der Definition der Existenz ab, was existiert, ob die Körper, ob deren lebendige Kraft, oder überhaupt deren Eigenschaften, so daß wir vielleicht noch einmal unsere eigene Existenz einfach hinweg definieren können.

Doch genug hiervon; das Bedürfnis nach der äußersten Ausnützung der Mittel unserer Auffassungskraft existiert, und da wir mit dem Auge die größte Fülle von Tatsachen auf einmal erfassen (wir sagen charakteristisch genug übersehen) können, so folgt hieraus das Bedürfnis, die Resultate des Kalküls anschaulich zu machen und zwar nicht bloß für die Phantasie, sondern auch sichtbar für das Auge, greifbar für die Hand, mit Gips und Pappe.

Wie wenig geschah in dieser Beziehung noch in meinen Studienjahren! Mathematische Instrumente waren fast unbekannt, und die physikalischen Experimente wurden häufig so angestellt, daß niemand davon etwas sehen konnte, als der Vortragende selbst. Da ich obendrein wegen Kurzsichtigkeit auch die Schrift und Zeichnung auf der Schultafel nicht sah, so wurde meine Einbildungskraft stets in Atem gehalten, fast hätte ich gesagt zu meinem Glücke. Doch letztere Behauptung liefe ja dem Zweck dieser Katalogstudie zuwider, der nur die Anpreisung des unendlichen Rüstzeuges von Modellen in der heutigen Mathematik sein kann, und sie wäre auch vollständig unrichtig. Denn hatte auch meine Vorstellungsgabe gewonnen, so war es doch nur auf Kosten des Umfangs der erworbenen Kenntnisse geschehen. Damals war die Theorie der Flächen zweiten Grades noch der Gipfelpunkt geometrischen Wissens und zu ihrer Versinnlichung genügte ein Ei, ein Serviettenreif, ein Sattel. Welche Fülle von Gestalten, Singularitäten, sich aus einander entwickelnden Formen hat der Geometer von heute sich einzuprägen, und wie sehr wird er dabei durch Gipsformen, Modelle mit fixen

und beweglichen Schnüren, Schienen und Gelenken aller Art unterstützt.

Daneben gewinnen aber auch die Maschinen immer mehr an Boden, welche nicht zur Versinnlichung dienen, sondern an Stelle des Menschen die Mühe der Ausführung wirklicher Rechnungsoperationen übernehmen, von den vier Spezies angefangen bis zu den kompliziertesten Integrationen.

Daß beide Gattungen von Apparaten auch von den an die stete Handhabung von Instrumenten ohnedies gewöhnten Physikern in der ausgedehntesten Weise verwendet werden, ist selbstredend. Alle möglichen mechanischen Modelle, optische Wellenflächen, thermodynamische Flächen aus Gips, Wellenmaschinen aller Art, Apparate zur Versinnlichung der Gesetze der Lichtbrechung und anderer Naturgesetze sind Beispiele von Modellen erster Art. In der Konstruktion von Apparaten zweiter Art ging man soweit, daß Versuche gemacht wurden, die Werte der Integrale von Differential-Gleichungen, welche in gleicher Weise für ein schwer zu beobachtendes Phänomen, wie die Gasreibung, und ein leicht meßbares, wie die Verteilung des elektrischen Stromes in einem leitenden Körper von entsprechend gewählter Gestalt gelten, durch Beobachtung des letzteren Phänomens einfach abzulesen und dann zur Berechnung der Reibungskonstante aus dem ersteren Phänomen zu verwerten. Man erinnere sich auch der graphischen Auswertung der in der Theorie der Gezeiten, in der Elektrodynamik usw. vorkommenden Reihen und Integralen durch Lord Kelvin, welcher in seinen „lectures of molecular dynamics“ sogar die Idee der Gründung eines mathematischen Instituts für solche Rechnungen ausspricht.

In der theoretischen Physik kommen jedoch noch Modelle zur Verwendung, welche ich einer dritten besondern Gattung zuzählen möchte, da sie ihren Ursprung einer besonderen Methode verdanken, die gerade in jenem Wissenszweige immer mehr zur Anwendung kommt. Ich glaube, daß dies mehr dem praktisch physikalischen Bedürfnisse als erkenntnis-theoretischen Spekulationen zu verdanken ist. Trotzdem aber hat diese Methode vielfach ein eminent philosophisches Gepräge, und wir müssen daher neuerdings den Boden der Erkenntnistheorie betreten.

Auf der von Galilei und Newton geschaffenen Grund-

lage hatten namentlich die großen Pariser Mathematiker um die Zeit der französischen Revolution und später eine scharf definierte Methode der theoretischen Physik geschaffen. Es wurden mechanische Voraussetzungen gemacht, woraus mittels der zu einer Art von geometrischer Evidenz gelangten Prinzipien der Mechanik eine Gruppe von Naturerscheinungen erklärt wurde. Man war sich zwar bewußt, daß die Voraussetzungen nicht mit apodiktischer Gewißheit als richtig bezeichnet werden konnten, aber man hielt es doch bis zu einem gewissen Grade für wahrscheinlich, daß sie der Wirklichkeit genau entsprächen und nannte sie deshalb Hypothesen. So dachte man sich die Materie, den zur Erklärung der Lichterscheinungen notwendigen Lichtäther und die beiden elektrischen Fluida als Summen mathematischer Punkte. Zwischen je zwei solchen Punkten dachte man sich eine Kraft wirksam, deren Richtung in ihre Verbindungslinie fällt und deren Intensität eine noch zu bestimmende Funktion ihrer Entfernung sein sollte (Boscovic). Ein Geist, dem alle Anfangspositionen und Anfangsgeschwindigkeiten aller dieser materiellen Teilchen, sowie alle Kräfte bekannt wären, und der auch alle daraus resultierenden Differentialgleichungen zu integrieren verstünde, könnte den ganzen Weltlauf voraus berechnen, wie der Astronom eine Sonnenfinsternis (Laplace). Man stand nicht an, diese Kräfte, welche man sich als das ursprünglich Gegebene, nicht weiter Erklärbare dachte, als die Ursachen der Erscheinungen, die Berechnung derselben aus den Differentialgleichungen als ihre Erklärung zu bezeichnen.

Dazu kam später die Hypothese, daß diese Teilchen auch in ruhenden Körpern in Bewegungen begriffen seien, welche zu den Wärmeerscheinungen Veranlassung geben, und deren Natur besonders in den Gasen sehr genau definiert wurde (Clausius). Ihre Theorie führte zu überraschenden Vorausberechnungen, so der Unabhängigkeit der Reibungskonstante vom Drucke, gewisser Beziehungen zwischen Reibung, Diffusion und Wärmeleitung usw. (Maxwell).

Die Gesamtheit dieser Methoden war so erfolgreich, daß es geradezu als Aufgabe der Naturwissenschaft bezeichnet wurde, die Naturerscheinungen zu erklären, und die früher so genannten beschreibenden Naturwissenschaften triumphier-

ten, als ihnen die Hypothese Darwins erlaubte, die Lebensformen und Erscheinungen nicht bloß zu beschreiben, sondern ebenfalls zu erklären. Sonderbarerweise machte fast gleichzeitig die Physik die entgegengesetzte Schwenkung.

Namentlich Kirchhoff schien es zweifelhaft, ob die bevorzugte Stellung, welche man den Kräften dadurch zuwies, daß man sie als Ursachen der Erscheinungen bezeichnete, eine berechtigte sei.

Ob man mit Kepler die Gestalt der Bahn eines Planeten und die Geschwindigkeit in jedem Punkte oder mit Newton die Kraft an jeder Stelle angebe, beides seien eigentlich nur verschiedene Methoden, die Tatsachen zu beschreiben und das Verdienst Newtons sei nur die Entdeckung, daß die Beschreibung der Bewegung der Himmelskörper besonders einfach wird, wenn man die zweiten Differentialquotienten ihrer Koordinaten nach der Zeit angibt (Beschleunigung, Kraft). Mit einer halben Seite waren die Kräfte aus der Natur hinwegdefiniert und die Physik zur eigentlich beschreibenden Naturwissenschaft gemacht. Das Gebäude der Mechanik war zu fest, als daß diese Veränderung der Außenseite sein Inneres hätte wesentlich beeinflussen können. Auch die auf die Vorstellung von Molekülen verzichtenden Elastizitätstheorien waren schon älter (Stokes, Lamé, Clebsch). Doch auf die Entwickelung anderer Zweige der Physik (Elektrodynamik, Theorie der Pyro- und Piëzoelektrizität usw.) gewann die Ansicht großen Einfluß, daß es nicht Aufgabe der Theorie sein könne, den Mechanismus der Natur zu durchschauen, sondern bloß von möglichst einfachen Voraussetzungen ausgehend (daß gewisse Größen lineare oder sonst einfache Funktionen seien usw.), möglichst einfache Gleichungen aufzustellen, die die Naturerscheinungen mit möglichster Annäherung zu berechnen erlauben; wie sich Hertz charakteristisch ausdrückt, nur die direkt beobachteten Erscheinungen nackt durch Gleichungen darzustellen, ohne die bunten, von unserer Phantasie ihnen umgehängten Mäntelchen der Hypothesen.

Indessen waren mehrere Forscher schon früher dem alten Systeme von Kraftzentren und Fernkräften von einer andern Seite noch empfindlicher zu Leibe gegangen; man könnte sagen von der entgegengesetzten, weil sie das bunte Mäntelchen der mechanischen Veranschaulichung besonders liebten;

man könnte sagen von benachbarter, da sie ebenfalls auf die Erkenntnis eines den Erscheinungen zugrunde liegenden Mechanismus verzichteten und in den von ihnen ersonnenen Mechanismen nicht diejenigen der Natur erblickten, sondern bloße Bilder oder Analogien.[1]) Mehrere Männer, an der Spitze Faraday, hatten sich eine ganz verschiedene Naturanschauung gebildet. Während das alte System bloß die Kraftzentra für das Reale, die Kräfte für mathematische Begriffe gehalten hatte, sah Faraday deutlich das Weben und Wirken der letzteren von Punkt zu Punkt im Zwischenraume; das Potential, früher eine nur die Rechnung erleichternde Formel, war ihm das im Raume real existierende Band, die Ursache der Kraftwirkung. Faradays Ideen waren viel unklarer, als die früheren mathematisch genau präzisierten Hypothesen, und mancher Mathematiker aus der alten Schule schätzte Faradays Theorien gering, ohne jedoch durch die Klarheit seiner Anschauungen zu gleich großen Entdeckungen zu gelangen.

Bald wurde namentlich in England allenthalben nach möglichst anschaulicher und greifbarer Darstellung der Begriffe und Vorstellungen getrachtet, die früher nur in der Analyse eine Rolle gespielt hatten. Diesem Streben nach Anschaulichkeit entsprang die graphische Darstellung der Grundbegriffe der Mechanik in Maxwells „matter and motion“, die geometrische Darstellung der Superposition zweier Sinusbewegungen, alle durch die Quaterionentheorie bedingten Veranschaulichungen, so die geometrische Deutung des Symbols

$$\Delta = \frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2}\,.$$[2])

Dazu kam ein zweiter Umstand. Die überraschendsten

1) Man vergleiche die fast ätherisch fein ausgearbeitete, kristallklare aber farblose Elastizitätstheorie in Kirchhoffs Vorlesungen mit der von Thomson im 3. Bande der math. and phys. papers gegebenen derb realistischen Theorie nicht des idealen elastischen Körpers, sondern des Stahls, Kautschuks, Leims, oder mit der oft kindlich naiven Sprache Maxwells, der mitten in den Formeln eine wirklich gute Methode, Fettflecken auszuputzen, zum besten gibt.

2) Maxwell, treat. on el. and magn. 1873, vol. I art. 29: nature of the operator ∇ and ∇^2; dieselbe wurde später auch von anderen

und weitgehendsten Analogien zeigten sich zwischen scheinbar ganz disparaten Naturvorgängen. Die Natur schien gewissermaßen die verschiedensten Dinge genau nach demselben Plane gebaut zu haben oder, wie der Analytiker trocken sagt, dieselben Differentialgleichungen gelten für die verschiedensten Phänomene.

So geschieht die Wärmeleitung, die Diffusion und die Verbreitung der Elektrizität in Leitern nach denselben Gesetzen. Dieselben Gleichungen können als Auflösung eines Problems der Hydrodynamik und der Potentialtheorie betrachtet werden. Die Theorie der Flüssigkeitswirbel, sowie die der Gasreibung zeigt die überraschendste Analogie mit der des Elektromagnetismus usw. Vergl. hierüber auch Maxwell „scient. pap.", vol. 1, pag. 156.

Solche Einflüsse drängten auch Maxwell, als er an die mathematische Ausarbeitung der Faradayschen Vorstellungen ging, von vorne herein in eine ganz neue Bahn. Schon Thomson[1]) hatte eine Reihe von Analogien zwischen Problemen der Elastizitätstheorie und solchen des Elektromagnetismus hervorgehoben. Maxwell erklärte schon in seiner ersten Abhandlung über Elektrizitätslehre[2]), daß er keine Theorie der Elektrizität zu geben beabsichtige, d. h. daß er selbst nicht an die Realität der inkompressibeln Flüssigkeit und der Widerstandskräfte glaube, die er dort annimmt, sondern daß er bloß ein mechanisches Beispiel zu geben beabsichtigt, welches große Analogie mit den elektrischen Erscheinungen zeigt und die letzteren auf eine Form bringen will, in der sie der Verstand möglichst leicht erfassen kann.[3]) In seiner zweiten Schrift[4]) geht er noch viel weiter und konstruiert aus Flüssigkeitswirbeln und Friktionsrollen, die sich

---

bemerkt: Mach, Über Hrn. Guebhards Darstellg. der Äquipotentialkurven, Wien, Sitzungsber., Bd. 86, p. 8, 1882. Vgl. auch Wied. Beibl., Bd. 7, p. 10, c. r. der Pariser Acad., Bd. 95, p. 479.

1) Cambridge a. Dublin math. journal, 1847; math. and phys. pap. vol. I.

2) Maxwell, On Faradays lines of force. Cambr. phil. trans., vol. X. Scient. pap., vol. I, p. 157.

3) Maxwell, Scient. pap., vol. I, p. 157.

4) Maxwell, On physical lines of force. Scient. pap., vol. I, p. 451. Phil. mag. (4), vol. 21, p. 161, 281, 338, 1861, vol. 23, p. 12, 85, 1862.

innerhalb Zellen mit elastischen Wänden bewegen, einen bewunderungswürdigen Mechanismus, welcher als mechanisches Modell für den Elektromagnetismus dient. Dieser Mechanismus wurde natürlich von jenen verspottet, welche ihn wie Zöllner für eine Hypothese im alten Sinne des Wortes hielten und meinten, Maxwell schreibe ihm Realität zu, was dieser selbst doch so entschieden ablehnt und nur bescheiden hofft, „daß durch derartige mechanische Fiktionen weitere Forschungen auf dem Gebiete der Elektrizitätslehre mehr gefördert als gehindert sein würden". Und sie waren gefördert; denn Maxwell gelangte durch sein Modell zu jenen Gleichungen, deren eigentümliche, fast unbegreifliche Zaubermacht der hierzu Berufenste, nämlich Heinr. Hertz, in seinem Vortrage über die Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität[1]) pag. 11 so drastisch schildert. Ich möchte den Worten Hertz' nur beifügen, daß Maxwells Formeln lediglich Konsequenzen seiner mechanischen Modelle waren und Hertz' begeistertes Lob in erster Linie nicht der Analyse Maxwells, sondern dessen Scharfsinn in der Auffindung mechanischer Analogien gebührt.

Erst in Maxwells dritter wichtiger Schrift[2]) und in seinem Lehrbuche[3]) schälen sich die Formeln mehr von dem Modelle los, welcher Prozeß dann durch Heavyside, Poynting, Rowland, Hertz, Cohn vollendet wurde. Maxwell benutzt noch immer die mechanische Analogie oder, wie er sagt, die dynamische Illustration. Aber er spezialisiert sie nicht mehr ins Detail, sondern er sucht vielmehr die allgemeinsten, mechanischen Voraussetzungen auf, welche auf dem Elektromagnetismus analoge Erscheinungen zu führen geeignet sind. Thomson wurde durch Erweiterung seiner schon zitierten Ideen auf den quasielastischen und den quasilabilen Äther, sowie auf dessen Veranschaulichung durch das gyrostatisch-adynamische Modell geführt.

Natürlich übertrug Maxwell die gleiche Behandlungsweise auch auf andere Zweige der theoretischen Physik. Als mechanische Analogien sind zum Beispiele auch Max-

---

1) Bonn, bei Emil Strauß, 1890.

2) Maxwell, A dynamical theory of the el. magn. field. Scient. pap. I, p. 526. Roy. soc. trans. vol. 155, p. 459, 1865.

3) Treat. on el. and magn. Oxford, Clar. press 1881.

wells Gasmoleküle aufzufassen, die sich mit einer der fünften Potenz ihrer Entfernung verkehrt proportionalen Kraft abstoßen, und es fehlte in der ersten Zeit wieder nicht an Forschern, welche, Maxwells Tendenz mißverstehend, seine Hypothese für unwahrscheinlich und absurd erklärten.

Allmählich jedoch fanden die neuen Ideen in allen Gebieten Eingang. Aus dem Gebiete der Wärmetheorie erwähne ich hier nur Helmholtz' berühmte Abhandlungen über die mechanischen Analogien des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie. Ja, es zeigte sich, daß sie dem Geiste der Wissenschaft besser entsprachen, als die alten Hypothesen und auch für den Forscher selbst bequemer waren. Denn die alten Hypothesen konnten nur aufrecht erhalten werden, so lange alles klappte; jetzt aber schadeten einzelne Nichtübereinstimmungen nicht mehr, denn einer bloßen Analogie kann man es nicht übel nehmen, wenn sie in einzelnen Punkten hinkt. Daher wurden bald auch die alten Theorien, so die elastische Theorie des Lichtes, die Gastheorie, die Schemata der Chemiker für die Benzolringe usw., nur mehr als mechanische Analogien aufgefaßt, und endlich generalisierte die Philosophie Maxwells Ideen bis zur Lehre, daß die Erkenntnis überhaupt nichts anderes sei, als die Auffindung von Analogien. Damit war die alte wissenschaftliche Methode wieder hinwegdefiniert und die Wissenschaft sprach nur mehr in Gleichnissen.

Alle diese mechanischen Modelle bestanden vorerst freilich nur im Gedanken, es waren dynamische Illustrationen in der Phantasie, und sie konnten auch in dieser Allgemeinheit nicht praktisch ausgeführt werden. Doch reizte ihre große Bedeutung dazu an, wenigstens ihre Grundtypen auch praktisch zu verwirklichen.

Über einen von Maxwell selbst und einen vom Schreiber dieser Zeilen unternommenen derartigen Versuch ist im zweiten Teile dieses Katalogs berichtet. Auch das Modell Fitzgeralds befindet sich gegenwärtig auf der Nürnberger Ausstellung, sowie das Modell Bjerknes', welche ähnlichen Tendenzen ihren Ursprung verdanken. Weitere hierher zu zählende Modelle wurden von Oliver Lodge, Lord Rayleigh und andern konstruiert.

Sie alle zeigen, wie die neue Richtung den Verzicht auf

vollständige Kongruenz mit der Natur durch um so schlagenderes Hervortreten der Ähnlichkeitspunkte wettmacht. Ihr gehört ohne Zweifel die nächste Zukunft; doch ebenso verfehlt, als es früher war, die alte Methode für die allein richtige zu halten, ebenso einseitig wäre es, sie, die so viel geleistet, jetzt für vollständig abgetan zu halten und nicht neben der neuen zu kultivieren.

München, August 1892.

2.

Über Maxwells Elektrizitätstheorie.[1]

Mit 9 Figuren.

Bekanntlich wurde schon eine Reihe von Versuchen gemacht, die elektrischen Erscheinungen durch Schwingungen zu erklären, die in einem feinen Medium sich fortpflanzen, und zwar führt die Eigentümlichkeit der magnet-elektrischen Wechselwirkungen darauf, rotatorische Schwingungen ins Auge zu fassen. Solche Ansichten wurden von Hankel und Challis aufgestellt; hervorragend ist jedoch die von dem englischen Physiker Maxwell aufgestellte Theorie, teils weil er von genau bestimmten Voraussetzungen ausgeht und mit mathematischer Schärfe nachweist, daß sich daraus alle magnet-elektrischen Wechselwirkungen erklären lassen, teils weil diese Theorie auf einige Konsequenzen führt, die noch ihrer Bestätigung durch das Experiment harren und so als Prüfstein der Richtigkeit und Zulässigkeit dieser Anschauung dienen können. Die übrigen Theorien gehen meist nur so weit, als die Erscheinungen bekannt sind, jedoch nicht darüber hinaus.

Ich will hier eine kurze Auseinandersetzung der Maxwellschen Theorie mit Ausschluß jedes theoretischen Beweises zu geben versuchen.

Mittelst der hydrodynamischen Gleichungen lassen sich die Kräfte, welche in bewegten Flüssigkeiten auftreten, berechnen. Nehmen wir an, wir hätten in irgend einer Flüssigkeit einen geraden Kreiszylinder C_1 (Fig. 1); die Achse desselben liege in der Zeichnungsebene, die Basis ist ein Kreis.

---

1) Aus den Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins in Graz. August 1873.

Dieser Zylinder soll um seine Achse rotieren — wie es die Pfeile anzeigen, — so wird derselbe in der ihn umgebenden Flüssigkeit einen Wirbel erzeugen; er wird nämlich die Flüssigkeitsteilchen seiner Umgebung in Kreisbewegungen versetzen. Es befinde sich nun in der Nähe ein zweiter gleichbeschaffener Zylinder C_2; dieser rotiere in demselben Sinne um seine Achse, so wird sich dadurch ein gleichbeschaffener Wirbel bilden. Aus den hydrodynamischen Gleichungen folgt nun, daß sich die beiden Zylinder abstoßen, wenn aber der zweite Zylinder im entgegengesetzten Sinne rotieren würde, so würden die beiden einander anziehen.

Den Grund dieser Erscheinung, welche übrigens auch experimentell bereits nachgewiesen worden ist, kann man sich,

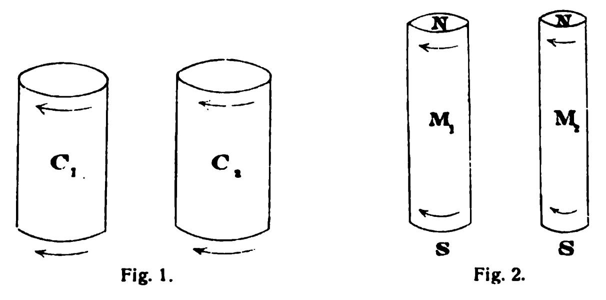


Fig. 1. Fig. 2.

wenn man nicht zur exakten Berechnung der Flüssigkeitsbewegung schreiten will, in folgender Weise veranschaulichen.

Rotiere nur der Zylinder C_1, so wird von seiner Mantelfläche durch Zentrifugalkraft die Flüssigkeit ringsum fortgetrieben; es wird also auf der Flächeneinheit dieser Mantelfläche ein kleinerer Druck lasten, als sonst in der Flüssigkeit herrscht. Da jedoch diese Druckverminderung an allen Stellen der Mantelfläche dieselbe ist, so wird auf den Zylinder im ganzen keine Kraft ausgeübt. Anders ist es, wenn rechts vom Zylinder C_1 ein zweiter Zylinder C_2 im gleichen Sinne rotiert. Jetzt tritt folgendes ein: an der linken Seite des Zylinders C_1 wird die Geschwindigkeit der Flüssigkeit durch die Anwesenheit des Zylinders C_2 verstärkt, folglich auch deren Zentrifugalkraft vergrößert. An der rechten Seite des Zylinders C_1 dagegen sucht der Zylinder C_2 der Flüssigkeit eine entgegengesetzte Bewegung zu erteilen, als ihr vermöge der Rotation des Zylinders C_1 zukommt; dort wird also ihre

Zentrifugalkraft vermindert. Der schon ursprünglich in der Flüssigkeit vorhandene Druck wird also jetzt an der linken Seite des Zylinders C_1 um mehr vermindert, als an dessen rechter, wodurch der Zylinder C_1 nach links getrieben wird. Aus demselben Grunde wird der Zylinder C_2 nach rechts getrieben; beide scheinen sich also abzustoßen. Der entgegengesetzte Erfolg tritt ein, wenn sich beide Zylinder in entgegengesetzter Richtung drehen.

Nach Maxwells Ansicht ruft nun ein Magnetstab in dem umgebenden Licht-Äther derartige Wirbel hervor; es sei

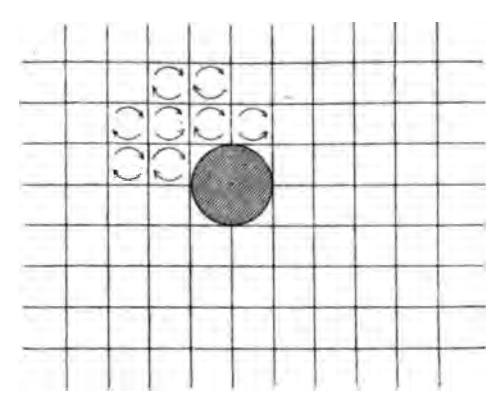


Fig. 3.

in Fig. 2 M_1 ein Magnetstab; derselbe ruft im Äther einen Wirbel hervor und zwar rotiere z. B. der Äther im Sinne des Pfeils. Daneben sei ein zweiter gleichgerichteter Magnetstab M_2, derselbe wird einen Wirbel erzeugen, der im selben Sinne rotiert: die beiden Magnete müssen sich daher nach den Gesetzen der Hydrodynamik abstoßen; das Gegenteil, also eine Anziehung, müßte auftreten, wenn einer der beiden Magnete umgekehrt würde. Diese Ergebnisse entsprechen den Tatsachen. Die Anziehung und Abstoßung zweier Magnete läßt sich also durch derartige Wirbel erklären.

Maxwell stellt sich diese Wirbel in etwas anderer Weise vor. Wir haben bisher angenommen, der ganze Äther wirble um den Magneten herum, es würde also jedes Ätherteilchen während endlicher Zeit eine bedeutende Wegstrecke zurücklegen; Maxwell dagegen setzt voraus, daß jedes Ätherteil-

chen nur in einem kleinen Raum-Element wirble. Um einen klaren Einblick der Maxwellschen Anschauung zu geben, stelle Figur 3 den in der Mitte senkrecht zur magnetischen Achse gelegten Querschnitt eines zylindrischen Magnetes dar, derselbe wird ein Kreis sein; den umgebenden Äther denken wir uns in sehr viele kleine Volum-Elemente, am besten in Gestalt kleiner Parallelepipede geteilt. Nun setzt Maxwell voraus, daß die Moleküle des Magneten in Rotationsbewegungen begriffen sind, diese teilen sich dem umgebenden Äther mit, und zwar rotiert der in jedem Volum-Element befindliche Äther um eine Achse, die parallel ist den Kraftlinien, die durch dieses Volum-Element hindurchgehen, also parallel der Linie, nach welcher ein im Volum-Elemente befindliches magnetisches Teilchen gezogen würde, und zwar scheint der Äther im Sinne der Uhrzeigerbewegung zu rotieren, falls man hinblickt ,wohin das Teilchen gezogen würde, wenn es nordmagnetisch wäre. Im mittleren Querschnitt — der in Fig. 3 verzeichnet ist — sind die Kraftlinien alle parallel der magnetischen Achse, also senkrecht auf der Ebene der Zeichnung der Fig. 3; die Rotationen werden daher im Sinne der kleinen Pfeile vor sich gehen; in jedem Volum-Elemente ist die Rotationsrichtung dieselbe.

Maxwell zeigt, daß man unter dieser Annahme alle Kräfte, welche zwischen Magneten wirksam sind, vollständig erklären kann. Eine kleine rotierende Äthermasse wirkt gerade so, entspricht also vollständig einem kleinen Magneten, dessen magnetische Achse mit der Drehungs-Achse der Äthermasse zusammenfällt. Die Rotationen im umgebenden Äther sind so angeordnet, daß daselbst kein sogenannter freier Magnetismus übrig bleibt, daß also nur die vorhandenen Magnete in die Ferne aufeinander zu wirken scheinen.

Große Schwierigkeit findet Maxwell darin, zu erklären, daß, wenn der Äther eines Volum-Elementes etwa im Sinne der Uhrzeigerbewegung wirbelt, der Äther der umliegenden Elemente angeregt wird, in demselben Sinne herumzuwirbeln. Betrachten wir irgend zwei Volum-Elemente A und B. Fig. 4. Angenommen, es seien die Teilchen des einen Elementes bereits in Rotation begriffen, die des zweiten noch nicht, so würde man vermuten, daß der Äther des zweiten Elementes im entgegengesetzten Sinne angeregt würde, ähnlich wie zwei

ineinandergreifende Zahnräder in entgegengesetzter Drehung begriffen erscheinen. Um nun dieser Schwierigkeit zu begegnen, hat Maxwell eine Hypothese gemacht, die er selbst mit der ihm eigenen Aufrichtigkeit als „shomewhat awkwart" bezeichnet; er nimmt nämlich an, daß an den Trennungsflächen der Volum-Elemente sich eine neue Gattung von Molekülen befindet, welche geradezu die Rolle von Friktionsrollen spielen, und welche ich daher Friktionsmoleküle nennen will. Die Oberfläche jedes Friktionsmoleküls adhäriert an den sie berührenden Ätherteilchen, so daß eine Bewegung der letzteren auch die ersteren in Bewegung versetzt und umgekehrt, und zwar so, daß an den Berührungsstellen sich immer die Ätherteilchen nach derselben Richtung bewegen, wie die sie berührende Stelle der Oberfläche des Friktionsmoleküls. Doch ist diese Bewegungsübertragung mit keiner Einbuße von lebendiger Kraft verbunden. Als Bild derselben kann wieder die Bewegungsübertragung zwischen zwei Zahnrädern dienen. Die Oberflächen zweier Friktionsmoleküle hingegen adhärieren gar nicht aneinander, so daß sich zwei Friktionsmoleküle in ihrer Drehung gar nicht beeinflussen, wohl aber stoßen sich zwei benachbarte Friktionsmoleküle ab, wenn ihre Entfernung kleiner als die normale ist. Sind also in Fig. 4, A und B Ätherzellen, so liegen in der Begrenzungsfläche FF lauter kleine Friktionsmoleküle. Nehmen wir nun an, in der Ätherzelle B rotiere der Äther bereits im Sinne des Pfeils P, so werden durch diese Rotationen zunächst die Friktionsmoleküle zur Rotation im entgegengesetzten Sinne angeregt. Da nun die Friktionsmoleküle wie Zahnräder in die in der Ätherzelle A befindliche Äthermasse eingreifen sollen, so wird letztere im Sinne der Pfeile q zur Bewegung angeregt, und es entsteht in A und B wirklich eine Rotationsbewegung in demselben Sinne.

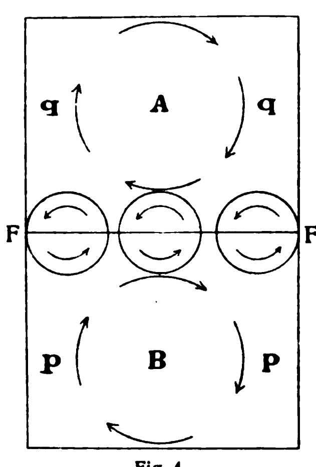


Fig. 4.

Maxwell weist nun nach, daß mittelst dieser Friktions-

moleküle in allen Ätherzellen genau solche Bewegungen entstehen, wie er sie zur Erklärung der magnetischen Erscheinungen benötigt. Er nimmt ferner noch an, daß sich in isolierenden Körpern die Centra der Friktionsmoleküle nur wenig von ihren ursprünglichen Lagen entfernen können, in die sie immer wieder mit einer gewissen Kraft zurückgezogen werden. In leitenden Körpern dagegen können die Friktionsmoleküle weite Wege zurücklegen, aber sie erfahren dabei einen gewissen Bewegungswiderstand, den galvanischen Leitungswiderstand.

Dies ist die einzige Bewegung im Äther, bei welcher lebendige Kraft verzehrt (in Wärme verwandelt) wird. In Isolatoren verhalten sich also die Friktionsmoleküle, wie die Moleküle fester, elastischer Körper, welche durch Kräfte an ihre Ruhelage gebannt sind; in Leitern dagegen verhalten sie sich, wie die Moleküle zäher Flüssigkeiten, die beliebig weit von ihrer ursprünglichen Ruhelage entfernt werden können, wobei aber ein gewisser Widerstand zu überwinden ist. Die Wände der Ätherzellen werden durch die Zentrifugalkraft des rotierenden Äthers deformiert.

Wenn in einem Leiter die Friktionsmoleküle nach einer bestimmten Richtung hinströmen, so bildet dieser Vorgang einen galvanischen Strom.

Wir wollen jetzt betrachten, was für Bewegungen in den Ätherzellen durch einen galvanischen Strom hervorgerufen werden. Nehmen wir an, wir hätten einen dünnen, langen Leiter L_1, Fig. 5; der Querschnitt desselben wird allerdings, selbst wenn er noch so klein ist, zahllose Ätherzellen enthalten. Es ändert jedoch, wie man leicht einsieht, den Charakter der Erscheinung gar nicht, wenn man voraussetzt, der Leiter sei so dünn, daß er nur eine Reihe von Friktionsmolekülen (m) enthält; diese sollen in der Richtung des Pfeiles P fortströmen; dann sagen wir, es fließt ein elektrischer Strom im Leiter L_1.

Der in den darunter befindlichen Ätherzellen A vorhandene Äther wird von den Friktionsmolekülen mitgenommen, daher wird derselbe in den Zellen A im Sinne der eingezeichneten Pfeile π rotieren. Solcher rotierende Äther ist aber (wie wir wissen) gleichbedeutend mit einem kleinen Magneten, und zwar fällt die magnetische Achse mit der

Rotations-Achse zusammen, also stellt jede Zelle ein kleines Magnetchen dar, dessen Südpol z. B. vorne liegt.

Betrachten wir aber die oberen Ätherzellen B_1. Hier bewegt sich der Äther, mitgenommen durch die Friktionsmoleküle in der Richtung der Pfeile π^1, daher sind die oberen Ätherzellen Magnetchen, welche den Nordpol nach vorne kehren. Ebenso werden noch nach unten zu Ätherzellen vorhanden sein, alle mit dem Südpol nach vorne, — nach oben aber solche mit dem Nordpol nach vorne gewendet. Es sei

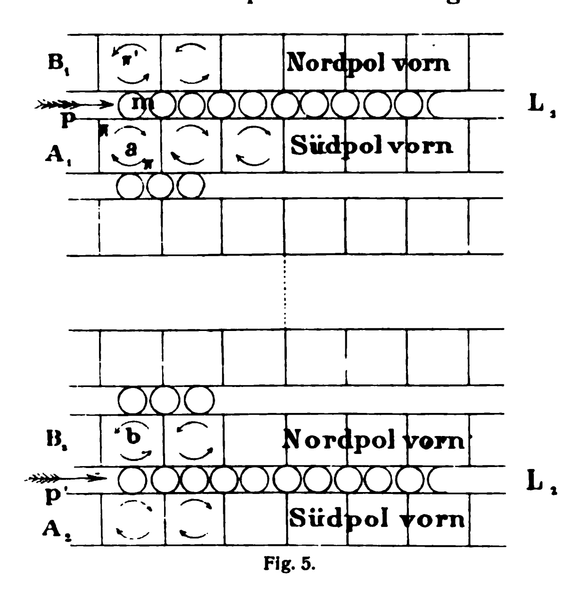


Fig. 5.

ferner in der Nähe von L_1 ein zweiter Stromleiter L_2; die Friktionsmoleküle sollen in derselben Richtung (p^1) strömen, so wird sich dieser Leiter wie der obere verhalten, in den oberen Ätherzellen B_2 werden Rotationen entstehen, dem Sinne der Uhrzeigerbewegung entgegen, also sind diese Zellen äquivalent kleinen Magneten, die den Nordpol vorne haben. Alle diese Magnetchen (um L_1 und L_2) werden aufeinander wirken, und zwar am stärksten jene, die einander am nächsten sind, also die unteren bei L_1 (a) auf die oberen bei L_2 (b); a und b haben aber entgegengesetzte Rotationsrichtung, daher werden sie sich anziehen. Denke ich mir einen Schnitt senkrecht auf die Ebene der Leiter gelegt, so ergibt

sich die Fig. 6. L_1 und L_2 sind von gleichgerichteten Strömen durchflossen, daher sind die Magnetchen (a) unterhalb L_1 entgegengesetzt gerichtet mit denen (b) oberhalb L_2, und da die Wechselwirkung dieser Magnetchen prävaliert, so müssen sich die beiden Leiter anziehen; wäre die zweite Stromsrichtung entgegengesetzt, so würden sich bei L_2 alle Bewegungsrichtungen umkehren, man würde eine Abstoßung zwischen den beiden Leitern erhalten. Man sieht leicht, daß sich die Wirkung eines Stromes auf einen Magneten erklären läßt, wenn man bedenkt, daß die Magnetpole immer in der Richtung der Kraftlinien gezogen werden, und daß die magnetischen Kraftlinien immer senkrecht auf den Ätherwirbeln stehen, woraus sich das Arrangement der Kraftlinien um einen elektrischen Strom leicht finden läßt.

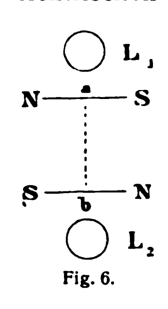


Fig. 6.

Nun berechnet Maxwell die Wechselwirkung beliebig gestalteter Ströme und Magnete und findet dieselbe übereinstimmend mit der durch die Beobachtung gegebenen: es ist also die elektro-dynamische Wechselwirkung erklärt.

Aber auch die Induktions-Erscheinungen lassen sich aus der Maxwellschen Theorie erklären. Stelle (Fig. 7) L_1 einen Stromleiter dar, in welchem anfangs die Friktionsmoleküle in Ruhe sind; in der Nähe befinde sich der Leiter L_2; der Einfachheit halber setzen wir wieder voraus, daß die beiden Leiter nur eine einzige Reihe von Friktionsmolekülen enthalten, und daß sich zwischen denselben nur eine einzige Reihe von Ätherzellen (die Zellen A) befinde. In L_1 entstehe nun plötzlich ein elektrischer Strom in der Richtung des Pfeiles p, es sollen also die Friktionsmoleküle plötzlich in der Richtung p in Bewegung geraten, so werden in den Ätherzellen rotierende Bewegungen im Sinne des Pfeiles π entstehen. Was geschieht dann mit den Friktionsmolekülen des zweiten Leiters L_2? Diese sind mit den Ätherteilchen A in Kontakt, daher entsteht dort ein Strom in der Richtung p^1, entgegengesetzt von p, der nichts anderes als der Induktionsstrom ist. Die Friktionsmoleküle in L_2 erfahren aber einen Widerstand bei der Bewegung; sie werden daher auch in drehende Bewegung kommen, und da nur die progressive, nicht die drehende Bewegung derselben einen Widerstand

erfährt, so bleibt schließlich nur die drehende übrig. Beide Bewegungen teilen sich den Ätherzellen B mit, und zwar regt, wie eine leichte Überlegung zeigt, die drehende Bewegung den Äther dieser Ätherzellen zur Rotation im Sinne der Pfeile π^1, die progressive aber zur entgegengesetzten Rotation an; da letztere, wenn der stationäre Zustand eingetreten ist, verschwindet, so muß dann der Äther in den Zellen B im Sinne der Pfeile π^1 rotieren und der Induktionsstrom aufhören. Würde man, nachdem der stationäre Zustand sich hergestellt, den oberen Strom (in L_1) plötzlich unterbrechen, so würde die Bewegung in den Ätherzellen A erlöschen, in den Zellen B aber fortdauern; es müssen daher die Friktionsmoleküle in L_2 in der Richtung des Pfeiles p_2 fortgetrieben werden; es entsteht in L_2 ein gleichgerichteter Induktionsstrom, wenn

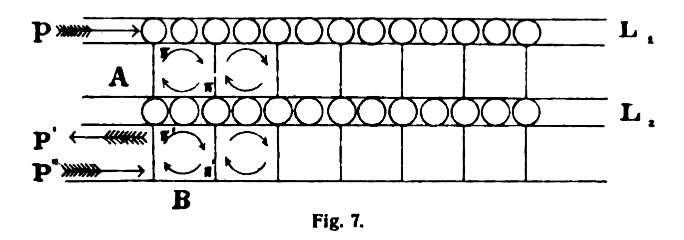


Fig. 7.

der Strom in L_1 erlischt. Sind in einem Körper mehr oder weniger Friktionsmoleküle enthalten, als im natürlichen Zustande, so ist derselbe positiv oder negativ elektrisch; es entsteht dann unter den Friktionsmolekülen des umgebenden Äthers ein Spannungszustand. Derselbe vermittelt die elektrostatischen Wechselwirkungen, ferner verschiebt er in einem benachbarten Leiter die Friktionsmoleküle nach einer bestimmten Seite; er ladet ihn durch Influenz. Da in einem Isolator die Centra der Friktionsmoleküle etwas beweglich sind, so werden dieselben auch dort durch Influenz etwas nach einer Seite geschoben; der Isolator zeigt ebenfalls elektrische Wirkung nach außen, er wird dielektrisch; und zwar ist die Stärke der Wirkung nach außen für verschiedene Isolatoren verschieden; ihr Maß ist die „Dielektrizitätskonstante“ des betreffenden Isolators. Da die Centra der Friktionsmoleküle in Isolatoren, ähnlich wie die Moleküle fester

Körper, verschiebbar sind, so ist leicht erklärlich, daß die Friktionsmoleküle in Isolatoren Transversalschwingungen ausführen können. Maxwell findet, daß diese Transversalschwingungen genau dieselben Eigenschaften wie die Lichtschwingungen besitzen und sich in Luft mit der Lichtgeschwindigkeit fortpflanzen müssen. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in den Isolatoren muß sich zu der in der Luft verhalten, wie 1 zu der Quadratwurzel der Dielektrizitätskonstante des betreffenden Isolators. Nun ist aber der Quotient der für irgend einen Körper geltenden Lichtgeschwindigkeit in die für die Luft geltende Lichtgeschwindigkeit der Brechungsquotient dieses Körpers, es ist also, nach Maxwells Theorie, der Lichtbrechungsquotient die Quadratwurzel aus der Dielektrizitätskonstante. Die Gesetze der magnetischen und elektrischen Fernwirkung, sowie der galvanischen Induktion lassen sich somit aus der Maxwellschen Anschauung erklären — ich beanspruche übrigens in diesem Vortrage keineswegs eine exakte Begründung der Maxwellschen Theorie gegeben zu haben, welche ohne Mathematik nicht möglich ist; derselbe soll nur eine beiläufige populäre Darstellung sein. — Nun ist zwar die Existenz der bisher angenommenen Friktionsmoleküle allerdings höchst unwahrscheinlich; dennoch scheint es mir wegen der schönen Übereinstimmung der Maxwellschen Theorie mit der Erfahrung, von welcher natürlich nur durch Lektüre der Originalabhandlungen Maxwells eine Vorstellung gewonnen werden kann, wünschenswert, diese Theorie nicht einfach zu verwerfen, sondern vielmehr nach einer Modifikation derselben zu trachten, welche deren Wesen beibehält, sie aber auf eine wahrscheinlichere Basis stellt. Vielleicht wäre dies möglich durch Zuhilfenahme einer Idee, welche schon öfter vorteilhaft angewandt wurde. Die mechanische Wärmetheorie lehrt, daß die ponderablen Moleküle der Körper in beständiger Bewegung begriffen sind; diese Ansicht können wir auch auf die Äthermoleküle übertragen. Nehmen wir an, auch die Äthermoleküle seien in beständiger Bewegung begriffen, so werden darunter auch rotierende Bewegungen vorkommen; die Äthermoleküle werden in Kreisen oder Ellipsen um ihre Ruhelage rotieren. In jedem Volum-Elemente des Äthers werden daher zahlreiche rotierende Bewegungen stattfinden; die Richtungen der Rotations-Achsen werden sehr

mannigfaltige im Raume sein. Ich nehme wie Maxwell an, daß in einem Magneten die Moleküle rotieren, und daß sie dabei den anhaftenden Äther mitnehmen, daß sich ferner auch diese Rotationsbewegungen dem umgebenden Äther mitteilen, aber behufs der Mitteilung möchte ich nicht zu Friktionsmolekülen greifen, sondern diese soll durch einfache hydrodynamische Wechselwirkung vor sich gehen zwischen den Rotationen im Innern des Magnetes und denen, welche schon ursprünglich im äußeren Medium vorhanden waren, wobei freilich die Anwendung der hydrodynamischen Gleichungen in ihrer gewöhnlichen Form nicht unbedingt gestattet ist, da diese voraussetzen, daß sehr viele Nachbarmoleküle immer fast denselben Bewegungszustand haben.

In den verschiedenen Volum-Elementen rotierte der Äther, bevor sich ein Magnet in der Nähe befand, nach den verschiedensten Richtungen im Raume; rotierender Äther ist aber vermöge der Maxwellschen Rechnungen einem Magneten äquivalent, daher sind die verschiedenen Volum-Elemente gleichsam sehr viele, sehr kleine Magnete mit allen möglichen Richtungen im Raume. Wenn man in diesem ursprünglich vorhandenen Äther plötzlich einen starken Magnet hineinbringt, so wird, wie schon aus den Maxwellschen Rechnungen folgt, der Magnet alle kleinen Magnetchen richten, und zwar derart, daß ihre magnetischen Achsen, also auch ihre Rotations-Achsen den Kraftlinien des starken Magnets parallel werden — und dies ist gerade die Annahme, welche Maxwell machen muß, um die magnet-elektrischen Erscheinungen zu erklären. Auf diese Weise können wir, ohne die Friktionsmoleküle nötig zu haben, doch die gleichen Resultate erhalten; es ist klar, daß sich der übrige Gang der Entwickelung ganz ähnlich gestalten muß. Ein elektrischer Strom wäre dann ein Fortströmen des Äthers im betreffenden Körper; dieser fortströmende Äther würde wieder auf die Rotationen richtend wirken, welche in dem umgebenden Äther schon vorhanden waren. Ein elektrischer, geladener Körper wäre ein solcher, welcher mehr oder weniger Äther enthält, als im natürlichen Zustande. Ein elektrisch polarisierter Körper wäre ein solcher, in welchem der Äther nach einer Richtung hin verschoben erscheint.

Unter der Voraussetzung, daß ein Körper im positiven elektrischen Zustande mehr Äther als im unelektrischen enthält, gibt Fig. 8 ein Bild, wie sich die Ätherwirbel in der Umgebung eines zylindrischen Magnetstabes stellen, dessen Nordpol N, dessen Südpol S ist. Im Innern des Magneten rotieren die Moleküle im Sinne der Pfeile von der Gestalt o→ P und Q sind zwei Kraftlinien, und zwar geben die Pfeile von der Gestalt ➸ die Richtung, nach der ein Nordpol gezogen wurde. Im umgebenden Äther stellen sich die Wirbel

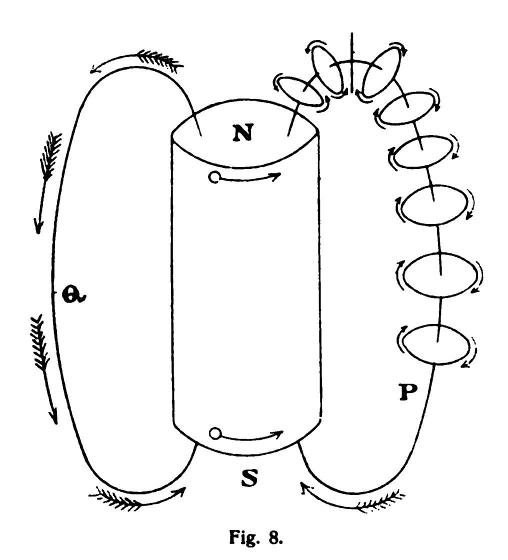


Fig. 8.

so, daß sie im Sinne des Uhrzeigers zu rotieren scheinen, wenn man in der Richtung der Pfeile ➸ blickt, also im Sinne der Pfeile von der Gestalt ⟶, wenn die kleinen, an der Kraftlinie P perlenschnurartig angereihten Scheibchen die Peripherien von Ätherwirbeln sind. Unter derselben Voraussetzung zeigt Fig. 9 das Arrangement der Ätherwirbel um einen elektrischen Strom, in dem der Äther in der Richtung der Pfeile o→ strömt. P ist wieder eine Kraftlinie; die Pfeile ⟶ geben die Richtung der Ätherwirbel.

Das Licht bestände einfach aus Transversalschwingungen der Ätherteilchen; nun wissen wir, daß eine Fortbewegung des Äthers ein elektrischer Strom ist. Daher können wir auch

sagen: ein Lichtstrahl besteht aus lauter kleinen elektrischen Strömen, welche in Geraden, Kreisen oder Ellipsen, die senkrecht auf der Fortpflanzungsrichtung stehen, fließen. Wir sahen, daß Maxwell fand, daß der Äther derartiger Transversalschwingungen fähig ist und mit Zuhilfenahme der Weber-Kohlrauschschen elektrodynamischen Bestimmungen ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Luft zu 310 Millionen Meter berechnete; dies ist in der Tat die Lichtgeschwindigkeit. Maxwell findet ferner, daß in allen leitenden Substanzen diese Schwingungen schon nach wenigen Wellenlängen

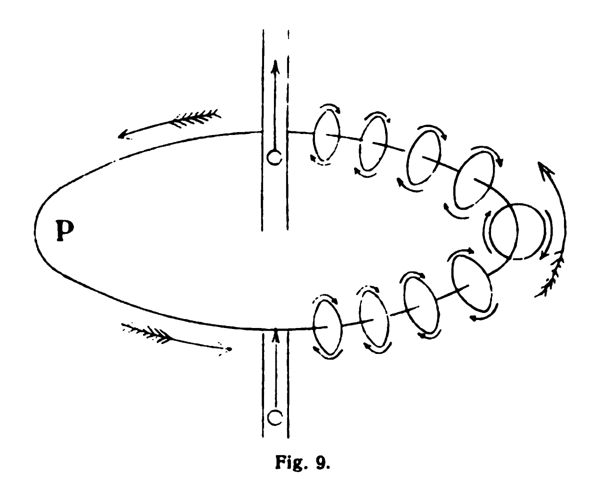


Fig. 9.

verschwinden müssen; dies ist ebenfalls durch Versuche bewahrheitet worden; eine Ausnahme machen nur die Elektrolyten. Die Elektrizitätsleitung in Elektrolyten ist eben eine ganz andere, als in Metallen. Man kann daher auch diesen Fall mit der Maxwellschen Theorie in Übereinstimmung bringen. Endlich herrscht noch ein Zusammenhang zwischen der sogenannten Dielektrizitätskonstante und dem Brechungsquotienten. Maxwell findet nämlich, daß der Brechungsquotient gleich ist der Quadratwurzel aus der spezifischen Induktionskonstante; diese Relation wurde durch Versuche bisher nicht geprüft. Aus den von mir darüber mit mehreren Körpern angestellten Untersuchungen ergab sich dieses Gesetz innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler bestätigt.

Würde dieser Zusammenhang der optischen und elektrischen Eigenschaften sich zweifellos herausstellen, so wäre der Weg angebahnt, auf dem wir vielleicht in kurzer, vielleicht auch in längerer Zeit zur sicheren Erkenntnis des Wesens der Elektrizität gelangen könnten, welches bis jetzt noch ein so dunkles Gebiet ist.

Eine Reihe von Ätherwirbeln (Kraftlinie) ist analog einer gespannten Schnur.

3.

Der zweite Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie.[1]

Als mich die Reihe traf, bei feierlicher Gelegenheit in dieser Versammlung, wo so viele sitzen, denen ich meine wissenschaftliche Erziehung zu verdanken habe, zu sprechen, da war ich mir der Schwierigkeit der übernommenen ehrenvollen Pflicht wohl bewußt, und nur mit Zögern ging ich daran, sie auf mich zu nehmen. Verzeihen Sie daher, wenn ich schon der Wahl meines Themas einige entschuldigende Worte widmen zu müssen glaube. Leichter noch wird diese dem Philosophen, Historiker, welche im steten Kontakte mit dem Publikum bleiben. In den Naturwissenschaften war es häufig Gepflogenheit, allgemeinere Gegenstände von sogenanntem philosophischen oder metaphysischen Inhalte zu besprechen. Wenn ich mich heute von dieser Gepflogenheit entferne, so möchte ich ja nicht in den Verdacht kommen, als ob mir diese allgemeinen Fragen unbedeutend oder unwichtig erschienen gegenüber den zahllosen Spezialfragen, welche die heutige Naturwissenschaft aufwirft. Nur die Art und Weise, wie sie bisher behandelt wurden, in manchen Fällen möchte ich fast sagen, daß sie überhaupt jetzt schon behandelt wurden, scheint mir verfehlt; daher die eigentümliche Erscheinung, daß, während auf den Spezialgebieten die Arbeit oft so reichlich lohnte, in allgemeinen Fragen die angestrengtesten Bemühungen häufig jedes Erfolges bar sind, während auf ersterem Gebiete bei allen Kontroversen über einzelnes doch Einigkeit in der Hauptsache herrscht, auf letzteren Gebieten die widersprechendsten Ansichten ihre Ver-

1) Vortrag, gehalten in der feierlichen Sitzung der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften am 29. Mai 1886.

fechter finden und diejenigen sich absolut nicht mehr verstehen, welche in Spezialfragen einmütig zusammen arbeiteten.

Nirgends weniger als in der Naturwissenschaft bewahrheitet sich der Satz, daß der gerade Weg der kürzeste ist. Wenn ein Feldherr eine feindliche Stadt zu erobern gedenkt, so wird er nicht die kürzeste Straße dahin auf der Landkarte aufsuchen; er wird vielmehr die mannigfaltigsten Umwege zu machen gezwungen sein, jeder Flecken auch ganz abseits vom Wege, wenn er ihn nur bezwingen kann, wird ihm zu einer wichtigen Stütze werden; uneinnehmbare Orte wird er zernieren. Gerade so fragt der Naturforscher nicht: welche Fragen sind die wichtigsten, sondern welche sind augenblicklich lösbar oder auch nur bei welchen ist ein kleiner reeller Fortschritt erreichbar? So lange die Alchimisten bloß den Stein der Weisen suchten, die Kunst des Goldmachens anstrebten, waren alle ihre Versuche fruchtlos; erst die Beschränkung auf scheinbar wertlosere Fragen schuf die Chemie. So verliert die Naturwissenschaft die großen allgemeinen Fragen scheinbar ganz aus dem Auge, aber um so großartiger ist der Erfolg, wenn sich bei mühsamem Tasten im Dickicht der Spezialfragen plötzlich eine kleine Lücke auftut, die einen bisher nicht geahnten Ausblick auf das Ganze gestattet.

Die Fallrinne Galileis, die Stevinsche Kette sind mächtige Stützpunkte geworden, von denen aus die Mechanik nicht bloß in die äußeren Beziehungen der Körper, nein, auch in das Wesen der Materie und Kraft eindringt. Die merkwürdigen Tatsachen, welche die Chemiker von Tag zu Tag finden, sind ebenso viele neue Beweise des Atomismus. Die Versuche Joules haben die alten Kontroversen über das Wesen der Arbeit, des Antriebes und der lebendigen Kraft definitiv entschieden. Die große Frage: Woher sind wir gekommen? Wohin werden wir gehen? wurde schon seit Jahrtausenden von den größten Genien diskutiert, in der geistreichsten Weise hin- und hergewendet; ich weiß nicht, ob mit irgend einem Erfolge, aber jedenfalls ohne einen wesentlichen, unleugbaren Fortschritt. Ein solcher wurde erst in unserem Jahrhundert zur vollendeten Tatsache durch höchst sorgfältige Studien und vergleichende Versuche über die Zucht von Tauben und anderen Haustieren, über die Färbung fliegender und schwimmender Tiere, durch For-

schungen über die frappante Ähnlichkeit unschädlicher Tiere mit giftigen, durch mühevolle Vergleiche der Blumengestalten mit den Formen der sie befruchtenden Insekten; gewiß lauter Forschungsgebiete von scheinbar untergeordneter Bedeutung, aber auf ihnen konnten wirkliche Erfolge erzielt werden, und gerade sie wurden die feste Operationsbasis für einen Feldzug ins Gebiet der Metaphysik von in der Geschichte der Wissenschaft einzig dastehendem Erfolge.

Schiller bemerkt von den Forschern seiner Zeit: „Die Wahrheit zu fangen ziehen sie aus mit Netzen und Stangen; aber mit Geistestritt schreitet sie mitten hindurch.“ Wie sehr würde er erst beim Anblicke des Rüstzeuges der heutigen Physik oder Chemie bezweifelt haben, ob mit solchem Chaos von Apparaten die Wahrheit gefangen werden könne, und ähnlich sieht es heutzutage in den Arbeitsstätten der Mineralogen, Botaniker, Zoologen, Physiologen usw. aus. Nicht bloß Vorrichtungen, um die Naturkräfte in neuer Weise dienstbar zu machen, sehe ich in jenen Apparaten, nein, mit weit größerer Ehrfurcht betrachte ich sie, ich wage es zu sagen, daß ich darin die wahren Vorrichtungen erblicke, um das Wesen der Dinge zu entschleiern. Manche Probleme sind dabei freilich nach Art der einst an einen Maler gerichteten Frage, welches Bild er hinter einem großen Vorhange verborgen halte: „Der Vorhang selbst ist das Bild!“ erwiderte jener, denn aufgefordert, Kenner durch seine Kunst zu täuschen, hatte er ein Bild gemalt, welches einen Vorhang darstellte. Gleicht nicht vielleicht der Schleier, der uns das Wesen der Dinge verhüllt, jenem gemalten Vorhange?

Betrachten wir die Apparate der experimentellen Naturwissenschaften als Werkzeuge zur Erringung praktischer Vorteile, so können wir ihnen gewiß den Erfolg nicht absprechen. Ungeahntes wurde da erzielt, was die Phantasie unserer Vorfahren in ihren Märchen geträumt, überboten durch die Wunder, welche die Wissenschaft im Vereine mit der Technik vor unseren staunenden Augen wirklich machte. Durch Erleichterung des Verkehrs der Menschen, Dinge und der Gedanken wurde die Erhöhung und Ausbreitung der Zivilisation in einer Weise gefördert, die in früheren Jahrhunderten höchstens in der Erfindung der Buchdruckerkunst ein Seitenstück hat. Und wer möchte dem fortschreitenden Menschen-

geiste ein Ziel setzen! Ist doch die Erfindung eines lenkbaren Luftschiffes kaum mehr als eine Frage der Zeit. Dennoch glaube ich, daß es nicht diese Errungenschaften sind, welche unserem Jahrhundert die Signatur aufdrücken. Wenn Sie nach meiner innersten Überzeugung fragen, ob man es einmal das eiserne Jahrhundert oder das Jahrhundert des Dampfes oder der Elektrizität nennen wird, so antworte ich ohne Bedenken, das Jahrhundert der mechanischen Naturauffassung, das Jahrhundert Darwins wird es heißen.

Nach diesem Geständnis werden Sie es mit mehr Nachsicht aufnehmen, wenn ich es wage, Ihre Aufmerksamkeit für eine ganz geringfügige eng begrenzte Frage in Anspruch zu nehmen, und Sie werden mich nicht der Geringschätzung großer allgemeiner Fragen beschuldigen, wenn ich mich Dingen zuwende, welche heute damit noch in keinem Zusammenhange stehen. So ganz ohne Interesse dürfte übrigens die Behandlung eines eng begrenzten Fachgegenstandes vor einem größeren Publikum doch nicht sein. Die Zeiten haben ja längst aufgehört, wo ein Sterblicher alle oder auch nur eine größere Anzahl von Wissenschaftszweigen umfassen konnte; heute ist nicht nur Beschränkung auf einen bestimmten Wissenschaftszweig, sondern selbst in diesem noch Beschränkung auf ein engeres Gebiet desselben geboten. Dabei wird aber das Ineinandergreifen der verschiedenen Wissenschaftszweige nur immer inniger, so daß trotz der ausgedehntesten Arbeitsteilung der einzelne niemals die fremden Gebiete aus dem Auge verlieren darf, und dies ist leider ohne zeitweilige, wenigstens flüchtige Blicke auf die Details der fremden Gebiete nicht möglich.

Man hat ehemals die Gesamtheit der Naturwissenschaften in zwei Hauptkomplexe geteilt: den einen bezeichnete man als die beschreibenden Naturwissenschaften, den andern, welcher Physik, Chemie, Astronomie, Physiologie, und soweit man sie zur Naturwissenschaft rechnete, auch Mathematik, Geometrie und Mechanik umfaßt, müßte man dann konsequent die erklärenden Naturwissenschaften nennen. Es darf uns nicht wundern, daß die naturhistorischen Disziplinen längst gegen den ersterwähnten, ihre Aufgabe so sehr beschränkenden Titel Protest eingelegt haben. Seit dem mächtigen Aufschwung der Geologie, Physiologie usw., namentlich aber seit

der allgemeinen Aufnahme der Ideen Darwins wagen sie sich kühnen Mutes daran, die Mineralformen, sowie die organischen Lebensformen zu erklären. Aber merkwürdig ist es, fast zur gleichen Zeit auf der andern Seite die entgegengesetzte Wendung sich vollziehen zu sehen. Mit der größten Klarheit stellt sich Kirchhoff in seinem umfassenden Werke über Mechanik lediglich die Aufgabe, die Naturerscheinungen möglichst einfach und übersichtlich zu beschreiben, auf jede Erklärung verzichtend, und seither wurde wiederholt in der Physik das, was man früher eine Erklärung nannte, als eine bloße Beschreibung der Tatsachen bezeichnet. Es geschieht dies, weil man eine Unbestimmtheit, welche dem Begriffe des Erklärens anhaftet, vermeiden will. Wenn man Bewegungen aus Kräften, Kräfte aus dem Wesen der Dinge, Erscheinungen aus Dingen an sich erklären will, so scheint man da immer von der Auffassung auszugehen, als ob die Erklärung erfordere, daß das zu Erklärende auf ein ganz neues, außer ihm liegendes Prinzip zurückgeführt werde. Diese Auffassung ist der Naturwissenschaft fremd. Diese löst bloß Komplexe in einfachere, aber gleichartige Bestandteile auf, führt kompliziertere Gesetze auf fundamentalere zurück. Wenn nun dieser Prozeß oft gelingt, so wird er uns so zur Gewohnheit, daß wir auch dort nicht stillstehen wollen, wo er naturgemäß zu Ende ist. Man pflegt wohl gar darin eine Beschränkung unseres Intellektes zu erblicken, daß, wenn es uns gelungen wäre, die einfachsten Grundgesetze zu finden, wir diese dann doch nicht mehr erklären oder begründen, d. h. weiter in einfachere zerlegen könnten; daß wir die Existenz der elementarsten Wesen doch nicht begreifen, d. h. auf noch elementarere zurückführen können. Sind wir da nicht wieder vor den früher erwähnten gemalten Vorhang gestellt? Wird man darin eine Beschränktheit unseres Gesichtsinnes erblicken, daß niemand angeben kann, welches Bild hinter dem Vorhange steckt? Wir werden das Wort „erklären“, beibehalten können, wenn wir vom Anfange an alle derartigen Hintergedanken fern halten.

Wir erschließen die Existenz aller Dinge bloß aus den Eindrücken, welche sie auf unsere Sinne machen. Einer der schönsten Triumphe der Wissenschaft ist es deshalb, wenn es uns gelingt, die Existenz einer großen Gruppe von Dingen

zu erschließen, welche unserer Wahrnehmung größtenteils entzogen sind; so gelang es den Astronomen aus oft sparsamen Lichtresten fast mit völliger Gewißheit die Existenz zahlloser Himmelskörper zu erschließen, welche die Dimensionen unserer Erde oft tausend-, ja millionenfach übertreffen und sich in Entfernungen befinden, bei deren bloßer Vorstellung uns Schwindel erfaßt. Wenn ich daher unter den Werkzeugen, denen die Metaphysik Dank schuldet, die der astronomischen Observatorien von dem einfachsten Diopter der alten Ägyptier bis zu den Fernrohren Galileis und Keplers und bis zu den Rieseninstrumenten Alwan Clarks nicht nannte, so beweist dies nur, wie lückenhaft mein Verzeichnis war. Was der Astronomie in größtem Maßstabe, ist ähnlich auch im allerkleinsten geglückt. Alle Beobachtungen weisen übereinstimmend auf Dinge von solcher Kleinheit, daß sie nur zu Millionen geballt unsere Sinne zu erregen vermögen. Wir nennen sie Atome und Moleküle. Wir sind bei Erforschung der Atome in vieler Beziehung noch weit ungünstiger daran als in der Astronomie. Die Himmelskörper können wir uns immer ähnlich wie unsere Erde denken, und wenn auch, was Größe, Aggregatzustand, Temperatur usw. betrifft, sicher die mannigfaltigsten Unterschiede bestehen, so können wir auch da an eine geschmolzene Metallmasse, an große glühende Gaskugeln denken, wobei noch die Spektralanalyse nähere Anhaltspunkte bietet. Über die Beschaffenheit der Atome aber wissen wir noch gar nichts und werden auch solange nichts wissen, bis es uns gelingt, aus den durch die Sinne beobachtbaren Tatsachen eine Hypothese zu formen. Merkwürdigerweise ist hier am ersten wieder von der Kunst Erfolg zu hoffen, welche sich auch bei Erforschung der Himmelskörper so mächtig erwies, von der Spektralanalyse. Daß derartige winzige Einzeldinge bestehen, deren Zusammenwirken erst die sinnlich wahrnehmbaren Körper bildet, ist freilich nur eine Hypothese, gerade so wie es nur Hypothese ist, daß das, was wir am Himmel sehen, durch so große so weit entfernte Weltkörper bewirkt wird, wie es im Grunde genommen auch nur eine Hypothese ist, daß außer mir noch andere Lust und Schmerz empfindende Menschen, daß auch Tiere, Pflanzen und mineralische Naturkörper existieren. Vielleicht wird einmal eine Hypothese, nach welcher die Sterne bloße Licht-

funken sind, die Himmelserscheinungen noch besser erklären als unsere heutige Astronomie, vielleicht, aber nicht wahrscheinlich. Vielleicht wird die atomistische Hypothese einmal durch eine andere verdrängt werden, vielleicht, aber nicht wahrscheinlich.

Alle Gründe, welche für diese Behauptung angeführt werden könnten, namhaft zu machen, ist hier nicht der Ort. Ich brauche wohl nicht zu erinnern an die genialen Schlüsse Thomsons, welcher auf den verschiedensten Wegen immer in recht befriedigender Übereinstimmung berechnete, aus wie viel jener Einzelnwesen ein Kubikmillimeter Wasser besteht. Ich brauche nicht zu erwähnen, daß, abgesehen von vielen Tatsachen der Chemie, mittelst der atomistischen Hypothese die Vorausberechnung der Abhängigkeit der Reibungskonstante der Gase von der Temperatur, des absoluten und relativen Wertes der Diffusions- und Wärmeleitungskonstante gelang, Vorhersagungen, welche sich gewiß der Berechnung der Existenz des Planeten Neptun durch Leverrier oder der Vorhersagung der konischen Refraktion durch Hamilton an die Seite stellen lassen. Es wird um so weniger notwendig sein, die Lösungen dieser beiden Probleme hier ausführlich zu besprechen, als mit jedem derselben der Name eines Mitgliedes der Akademie für immer verknüpft ist. Nur der ersten Berechnung der Reibungskonstante durch Maxwell will ich kurz gedenken.

Es leitet dieser aus seiner Theorie das Resultat ab, daß der Widerstand, den in einem Gase bewegte Körper erfahren, für eine ganze Klasse von Erscheinungen unabhängig von der Dichte des Gases ist. Jene Erscheinungen sind dadurch charakterisiert, daß dabei die Masse des Gases keine Rolle spielt im Vergleiche mit der Masse der bewegten Körper. Alle bisherigen Beobachtungen sprachen dagegen; man hatte jederzeit den Widerstand in dichter Luft viel größer gefunden als in verdünnter. Das Resultat schien auch von vornherein unwahrscheinlich, denn wenn der Widerstand von der Dichte unabhängig wäre, müßte er ja auch derselbe bleiben, wenn die Dichte gleich Null würde, also kein Gas mehr vorhanden wäre. All dies konnte Maxwell nicht entgehen, und als er sein Resultat zum ersten Male veröffentlichte, gestand er, fast lieber an einen Fehler seiner Rechnungen als an so wider-

sinnige Konsequenzen zu glauben. Seitdem wurden viele in jene Erscheinungsklasse gehörige Fälle der Beobachtung unterzogen, und Lügen gestraft wurde nur das mangelnde Vertrauen Maxwells an die Macht seiner eigenen Waffen. Es ist kein Zweifel mehr, daß in diesen Fällen wirklich innerhalb weiter Grenzen der Widerstand von der Gasdichte unabhängig ist. Wird die Dichte zu klein, so nimmt freilich der Widerstand endlich ab und wird Null, wo kein Gas mehr vorhanden ist, allein auch hier gelang es der Theorie, die Grenze der Gültigkeit des Maxwellschen Gesetzes numerisch genau vorauszubestimmen.

Eng an die Atomistik schließt sich die Hypothese an, daß jene Elemente der Körperwelt nicht etwa ruhen und starr neben einander liegend die Materie bilden, wie Bausteine eine Mauer, sondern daß sie in reger Bewegung begriffen sind. Auch diese Hypothese, welche man als die mechanische Wärmetheorie bezeichnet, ist eine fest auf Tatsachen begründete Ansicht. Maß und Zahl verdankt sie dem vom Robert Mayer zuerst klar ausgesprochenen Prinzipe der Erhaltung der Energie. Diese vermag drei Formen anzunehmen, die sichtbare Bewegung der Körper, die der Wärme, d. h. der Bewegung der kleinsten Teile, endlich die der Arbeit, d. h. der Entfernung sich anziehender oder der Annäherung sich abstoßender Körper. Die letztere Form scheint schwerer begreiflich; einen Fingerzeig geben uns da die Arbeitsverhältnisse der Magnete und elektrischen Ströme; diese sind in so mannigfaltiger Weise von der Konfiguration abhängig, daß sich uns da unwillkürlich die Vorstellung darbietet, es möchten noch Bewegungen eine Rolle spielen, die nicht nur wie die Wärmeschwingungen der Moleküle unserem leiblichen Auge verborgen sind, sondern über deren Natur bisher auch noch keine Hypothese gemacht wurde, z. B. Bewegungen eines noch unbekannten Mediums des Lichtäthers. Bei Annäherung sich abstoßender oder Entfernung sich anziehender Körper müßten die Bewegungen in diesem Medium vermehrt werden, kein Wunder daher, daß dafür die Summe der sichtbaren und Wärmebewegung abnimmt, da ja ein Teil davon in das hypothetische Medium übergeht. Das entgegengesetzte würde für den umgekehrten Fall gelten. So wären aus einem allgemeinen Prinzipe alle

Erscheinungen leicht ableitbar. Wärme, sichtbare lebendige Kraft und Arbeit könnten beliebig aus einander erzeugt und ineinander übergeführt werden, wobei ihre Quantität immer gewahrt bleibt.

Allein diesem allgemeinen Prinzipe hat die mechanische Wärmetheorie ein zweites an die Seite gesetzt, welches das erste in einer wenig befriedigenden Weise beschränkt, den sogenannten zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie; dieser wird etwa folgendermaßen ausgedrückt: Arbeit und sichtbare lebendige Kraft können bedingungslos ineinander übergehen und sich bedingungslos in Wärme verwandeln, umgekehrt ist die Rückverwandlung der Wärme in Arbeit oder sichtbare lebendige Kraft entweder gar nicht oder doch nur teilweise möglich. Gleicht das Prinzip schon in dieser Fassung einem unbequemen Anhange des ersten, so wird es noch viel fataler durch seine Konsequenzen. Die Energieform, welche wir für unsere Zwecke benötigen, ist immer die der Arbeit oder sichtbaren Bewegung. Die bloßen Wärmeschwingungen entschlüpfen unseren Händen, entziehen sich unseren Sinnen, sie sind für uns gleichbedeutend mit Ruhe; daher wurde die Wärmeform der Energie öfters als dissipierte oder degradierte Energie bezeichnet, so daß der zweite Hauptsatz ein stetes Fortschreiten der Degradation der Energie verkündet, bis endlich alle Spannkräfte, die noch Arbeit leisten könnten und alle sichtbaren Bewegungen im Weltalle aufhören müßten.

Alle Versuche, das Universum von diesem Wärmetode zu erretten, blieben erfolglos; und um nicht Erwartungen zu erregen, die ich nicht erfüllen kann, will ich sogleich bemerken, daß auch ich hier keinen derartigen Versuch machen werde.

Meine Absicht ist vielmehr lediglich, den zweiten Hauptsatz von einer anderen Seite ein wenig näher zu beleuchten. Die Wärmebewegungen der Moleküle sind höchst wahrscheinlich so beschaffen, daß nicht immer eine große Gruppe benachbarter Moleküle denselben Bewegungszustand hat, sondern daß unbeschadet fortwährender gegenseitiger Beeinflussung doch jedes Molekül selbständig seinen eigenen Weg geht, gewissermaßen als selbständig handelndes Individuum auftritt. Man könnte da meinen, daß diese Selbständigkeit

ihrer Bestandteile sofort in den äußeren Eigenschaften der Körper zutage treten müßte, daß etwa in einer horizontalen Metallstange bald das rechte, bald das linke Ende von selbst heißer werden müßte, je nachdem gerade an der einen oder anderen Stelle die Moleküle lebhaftere Schwingungen ausführen würden; daß in einem Gase, wenn gerade die Bewegungen sehr vieler Moleküle gegen einen bestimmten Punkt gerichtet sind, dort plötzlich eine größere Dichte auftreten müßte. Hiervon bemerken wir nun nichts, und daß wir dies niemals bemerken, daran ist nichts anderes schuld als das sogenannte Gesetz der großen Zahlen.

Bekanntlich hat Buckle statistisch nachgewiesen, daß, wenn man nur eine genügende Anzahl von Menschen in Betracht zieht, nicht bloß die Anzahl der von der Natur bedingten Vorgänge der Sterbefälle, Krankheiten usw., sondern auch die relative Zahl der sogenannten freiwilligen Handlungen, der Heiraten in einem gewissen Alter, der Verbrechen, der Selbstmorde vollkommen konstant bleibt, so lange die äußeren Umstände sich nicht wesentlich ändern. Nicht anders geht es bei den Molekülen. Der Druck eines Gases auf einen Stempel entsteht dadurch, daß bald das eine, bald das andere Molekül bald heftiger, bald schwächer, bald gerade, bald schief auf den Stempel stößt; aber vermöge der großen Zahl der stoßenden Moleküle bleibt nicht nur der Gesamtdruck fortwährend konstant, sondern auch auf jeden noch so kleinen sichtbaren oder beobachtbaren Teil des Stempels entfällt die gleiche durchschnittliche Intensität von Stößen. Bemerken wir, daß an irgend einer Stelle der Druck größer ist, so werden wir sogleich nach einer äußeren Ursache suchen, welche die Moleküle bewegt mit Vorliebe dieser Stelle zuzuströmen. Wenn nun in einem gegebenen Systeme von Körpern ein gegebenes Energiequantum enthalten ist, so wird sich diese Energie nicht willkürlich bald in der einen, bald der andern Weise transformieren, sondern sie wird immer aus unwahrscheinlichen in wahrscheinlichere Formen übergehen; wenn ihre Verteilung unter den Körpern anfangs den Wahrscheinlichkeitsgesetzen nicht entsprach, so wird dies immer mehr und mehr angestrebt werden. Gerade die Energieformen aber, welche wir praktisch zu realisieren wünschen, sind immer unwahrscheinliche. Wir wünschen beispielsweise,

daß sich ein Körper als Ganzes bewegt; dazu ist erforderlich, daß alle Moleküle desselben gleiche und gleich gerichtete Geschwindigkeiten haben. Fassen wir die Moleküle als selbständige Individuen auf, so ist dies aber der denkbar unwahrscheinlichste Fall. Es ist bekannt, wie schwer von einer nur einigermaßen großen Zahl selbständiger Individuen alle dazu zu bringen sind, genau dasselbe genau in gleicher Weise auszuführen. Nur durch diese Übereinstimmung aller Bewegungen wird aber das höchste Ziel, die unbedingte Verwandelbarkeit erzielt. Jede Abweichung von der Übereinstimmung ist Degradation der Energie. Gleich unwahrscheinlich ist die Energieform der reinen, mechanischen Arbeit, wogegen bei der chemischen Arbeit schon eine den Wahrscheinlichkeitsgesetzen wenigstens teilweise entsprechende Vermischung der Atome stattfinden kann.

Was wir daher früher als degradierte Energieformen bezeichnet haben, werden nichts anders als die wahrscheinlichsten Energieformen sein, oder besser gesagt, es wird Energie sein, welche in der wahrscheinlichsten Weise unter den Molekülen verteilt ist. Denken wir uns einer Menge weißer Kugeln, ein anderes Quantum sonst gleichbeschaffener schwarzer Kugeln zugefügt. Anfangs seien an einer Stelle nur weiße, an der andern nur schwarze Kugeln vorhanden. Mischen wir sie aber mit der Hand oder setzen sie sonst einem andern ihre relative Lage fortwährend verändernden Einflusse aus, so werden wir sie nach Verlauf einiger Zeit bunt durcheinander gewürfelt finden. Nicht anders geht es, wenn wir einen Körper haben, welcher heißer als seine Umgebung ist; wir haben da ja eine größere Gruppe rascher bewegter Moleküle inmitten von Gruppen langsamer bewegter. Bringen wir den heißeren Körper direkt mit seiner kälteren Umgebung in Berührung, so stellt sich die den Wahrscheinlichkeitsgesetzen entsprechende Verteilung der Geschwindigkeiten her. Die Temperatur gleicht sich aus. Schlagen wir aber Umwege ein, so können wir die vorhandene Unwahrscheinlichkeit in der Verteilung der Energie benutzen, um auf ihre Kosten andere unwahrscheinliche Energieformen zu erzeugen, die sich nicht von selbst bilden würden. Wir können bei Gelegenheit des Wärmeübergangs von einem heißeren zu einem kälteren Körper einen Teil der überge-

gangenen Wärme in sichtbare Bewegung oder in Arbeit verwandeln, was z. B. bei den Dampfmaschinen oder allen kalorischen Maschinen geschieht.

Das gleiche wird jedesmal möglich sein, wenn die Energieverteilung zu Anfang nicht den Wahrscheinlichkeitsgesetzen entspricht, zum Beispiel wenn ein Körper kälter als seine Umgebung ist, wenn in einem Gase an einer Stelle die Moleküle dichter gedrängt, an einer andern dünner gesäet sind usw. Nehmen wir an, wir hätten in der untern Hälfte eines Gefäßes reinen Stickstoff, in der obern reinen Wasserstoff, beide von gleicher Temperatur und gleichem Drucke, so würde diese Verteilung nicht dem Wahrscheinlichkeitsgesetze entsprechen, welches fordert, daß alle Moleküle gleichmäßig vermischt seien, wie oben die weißen und schwarzen Kugeln. Geschieht die Vermischung der Gase direkt, so ist dies dem Falle analog, daß sich zwischen zwei verschieden warmen Körpern die Temperatur unmittelbar ausgleicht, wobei ebenfalls keine Wärme in Arbeit verwandelt wird. Es ist aber auch denkbar, daß sich die Vermischung beider Gase auf Umwegen vollzieht und dabei ein Teil der in ihnen enthaltenen Wärme in sichtbare Bewegung oder Arbeit verwandelt wird. In der Tat hat zuerst Lord Rayleigh gezeigt, daß dies wirklich realisierbar ist.

In einem einzelnen Gase werden nicht alle Moleküle genau die gleiche Geschwindigkeit besitzen, sondern einige viel größere, andere wieder kleinere Geschwindigkeiten als die mittlere haben, und es hat zuerst Maxwell bewiesen, daß die verschiedenen Geschwindigkeiten genau so verteilt sind wie die Beobachtungsfehler, welche sich immer einschleichen, wenn eine und dieselbe Größe mehrmals unter gleichen Umständen durch Messung bestimmt wird. Wir können in der Übereinstimmung dieser beiden Gesetze natürlich keinen Zufall erblicken, da ja beide durch dieselben Regeln der Wahrscheinlichkeit bestimmt werden. Wäre ein Gas herstellbar, in welchem alle Moleküle genau dieselbe Geschwindigkeit hätten, so wäre auch dies eine Energieverteilung, welche bedeutend von der wahrscheinlichsten abweichen würde. Wenn daher auch diese Energieform bisher noch niemals praktisch erzeugt werden konnte, so können wir doch schon a priori behaupten, daß ihr Übergang in gewöhnliche

Wärme ebenfalls Veranlassung zur Erzeugung unwahrscheinlicher Energieformen werden könnte, nicht anders als der Übergang der Wärme von einem heißern zu einem kältern Körper.

Man ist nun nicht bloß qualitativ imstande, die eine Energieverteilung als gänzlich unwahrscheinlich, die andere als wahrscheinlich zu bezeichnen, sondern die Wahrscheinlichkeitsrechnung erlaubt auch wie in allen anderen ihr unterstehenden Fällen genau quantitativ das Maß für die Wahrscheinlichkeit irgend einer Energieverteilung aufzustellen; selbstverständlich unter der Voraussetzung, daß die mechanischen Bedingungen des Systems bekannt sind. Bezüglich der logischen Begründung der betreffenden Rechnungen vgl. Kries, die Prinzipien der Wahrscheinlichkeitsrechnung, Freiburg bei J. C. B. Mohr. Jeder Energieverteilung kommt daher eine quantitative bestimmbare Wahrscheinlichkeit zu. Da diese in den für die Praxis wichtigsten Fällen identisch ist mit der von Clausius als Entropie bezeichneten Größe, so wollen wir ihr hier ebenfalls diesen Namen geben. Alle Veränderungen, wobei die Entropie größer wird, werden, wie sich Clausius ausdrückt, von selbst vor sich gehen. Kleiner kann dagegen die Entropie nur werden, wenn dafür ein anderes System gleich viel oder noch mehr Entropie gewinnt. Wenn wir ursprünglich zwei Körper von verschiedener Temperatur hatten und sich die Temperatur zwischen ihnen ausgleicht, so läßt sich der Betrag der Wahrscheinlichkeit des früheren Zustandes, wo zwischen beiden Körpern Temperaturdifferenz herrschte, und des jetzigen, welcher der wahrscheinlichere ist, exakt berechnen und daher auch feststellen, wieviel von der übergegangenen Wärme in Arbeit verwandelt werden kann; nur wenn die Temperaturen anfangs sehr bedeutend verschieden waren, wie die der verbrennenden Kohle oder des brennenden Knallgases von unseren gewöhnlichen Temperaturen, so kann fast alle übergegangene Wärme in Arbeit verwandelt werden. In der Mathematik pflegt man da zu sagen: beim Übergange von unendlicher zu endlicher Temperatur kann alle Wärme in Arbeit verwandelt werden; es ist die unendlich vielmal höhere Temperatur gewissermaßen unendlich unwahrscheinlich. Ebenso entspricht der Fall, daß die Bewegungen aller Atome gleich und gleich

gerichtet sind oder mit anderen Worten, daß ein Körper eine sichtbare fortschreitende Bewegung hat, einer unendlich unwahrscheinlichen Konfiguration der Energie, d. h. sichtbare Bewegung verhält sich wie Wärme von unendlich hoher Temperatur, sie kann ganz in Arbeit verwandelt werden.

Eine Maschine ist eine Vorrichtung, um mit Hilfe einer disponiblen Kraft eine Last zu überwinden. Man berechnet bei Maschinen immer den Fall, daß die Kraft der Last gerade das Gleichgewicht hält, obwohl dieser Fall in der Praxis noch von keinem Nutzen ist; so lange Gleichgewicht herrscht, kann die Last um keines Haares Breite weiter bewegt werden, dazu ist erforderlich, daß die Kraft noch ein wenig größer sei. Ganz analog verfährt man in der Wärmelehre: man faßt da immer solche Energietransformationen ins Auge, wobei die Wahrscheinlichkeit der Energieverteilung immer dieselbe bleibt: umkehrbare Zustandsänderungen werden sie genannt; denn da die Wahrscheinlichkeit immer gleich bleibt, so können sie auch ebensogut in der entgegengesetzten Reihe vor sich gehen; streng genommen freilich können sie weder in der einen noch in der andern Reihenfolge ablaufen, so wenig die Last im Falle des Gleichgewichtes durch die Kraft bewegt werden kann, da ja die Energietransformation nur dann wirklich stattfinden wird, wenn der Zustand des Systems durch sie wahrscheinlicher wird. Aber wenn der Wahrscheinlichkeitsunterschied sehr klein gedacht wird, so kann man sich umkehrbaren Zustandsänderungen beliebig nähern. In diesem Sinne denkt sich der Wärme-Theoretiker Wärme von einem Körper zu einem vollständig gleich warmen übergehend oder einen Stempel zurückweichend, wenn Druck und Gegendruck vollständig gleich sind; praktisch wird immer der zweite Körper ein wenig kälter, der Gegendruck ein wenig kleiner sein müssen. Umkehrbare Zustandsänderungen wurden mit den mannigfaltigsten Körpern in der mannigfaltigsten Weise ersonnen. Sie führten immer auf merkwürdige Beziehungen von Eigenschaften, deren Zusammenhang man sonst nicht vermutet hätte. Soweit diese Beziehungen experimentell geprüft wurden, haben sie sich regelmäßig bestätigt. So fand man den Zusammenhang zwischen den spezifischen Wärmen, den Kompressions- und Temperatur-Ausdehnungs-Coefficienten der Körper, die Relation zwischen der Volumveränderung

beim Erstarren und der Änderung des Schmelzpunktes durch Druck, zwischen der Übersättigung der Dämpfe durch Ausdehnung und deren anderen Eigenschaften, zwischen der Löslichkeit der Salze, ihren spezifischen Gewichten und den Dampfspannungen ihrer Lösungen, zwischen magnetischen und thermischen Eigenschaften der Körper, zwischen den Verbindungswärmen, der elektromotorischen Kraft und deren Abhängigkeit von der Temperatur.

Man hat die Sonne als die Energiequelle, nicht nur des tierischen und pflanzlichen Lebens und der meteorologischen Prozesse, sondern überhaupt aller irdischen Arbeitsprozesse mit Ausnahme der Meermühlen von Agrostoli gepriesen.

Helmholtz hat gezeigt, daß auch die den Steinkohlen entstammende Wärme nur aufgespeicherte Sonnenwärme ist, aber ich weiß nicht, ob man mit genügender Klarheit darauf hingewiesen hat, warum uns gerade diese Energiequelle von so großem Nutzen ist; in den Körpern der Erdoberfläche, welche uns unmittelbar zur Hand sind, ist ja ein Energievorrat aufgespeichert, von dessen Größe wir gar keinen Begriff haben. Wenn die Wärme, welche der Niagarafall allein produziert, schon hinreichen würde, einen erheblichen Teil aller unserer Maschinen zu treiben; welchen unerschöpflichen Vorrat von Energie hätten wir dann, wenn wir imstande wären, alle in den uns umgebenden Körpern enthaltene Wärme in Arbeit zu verwandeln. Allein dies gelingt eben nicht, weil die in ihnen vorhandene Energie, soweit nicht durch Einwirkung der Sonne Temperaturungleichheiten entstehen, schon nahezu in der wahrscheinlichsten Weise verteilt ist und daher jeder Versuch, sie in anderer unseren Zwecken mehr entsprechender Weise zu verteilen, scheitert. Dagegen herrscht zwischen Sonne und Erde eine kolossale Temperaturdifferenz; zwischen diesen beiden Körpern ist daher die Energie durchaus nicht den Wahrscheinlichkeitsgesetzen gemäß verteilt. Der in dem Streben nach größerer Wahrscheinlichkeit begründete Temperaturausgleich zwischen beiden Körpern dauert wegen ihrer enormen Entfernung und Größe Jahrmillionen. Die Zwischenformen, welche die Sonnenenergie annimmt, bis sie zur Erdtemperatur herabsinkt, können ziemlich unwahrscheinliche Energieformen sein, wir können den Wärmeübergang von der Sonne zur Erde leicht zu Arbeits-

leistungen benützen, wie den vom Wasser des Dampfkessels zum Kühlwasser. Der allgemeine Daseinskampf der Lebenswesen ist daher nicht ein Kampf um die Grundstoffe — die Grundstoffe aller Organismen sind in Luft, Wasser und Erdboden im Überflusse vorhanden — auch nicht um Energie, welche in Form von Wärme leider unverwandelbar in jedem Körper reichlich enthalten ist, sondern ein Kampf um die Entropie, welche durch den Übergang der Energie von der heißen Sonne zur kalten Erde disponibel wird. Diesen Übergang möglichst auszunutzen, breiten die Pflanzen die unermeßliche Fläche ihrer Blätter aus und zwingen die Sonnenenergie in noch unerforschter Weise, ehe sie auf das Temperaturniveau der Erdoberfläche herabsinkt, chemische Synthesen auszuführen, von denen man in unseren Laboratorien noch keine Ahnung hat. Die Produkte dieser chemischen Küche bilden das Kampfobjekt für die Tierwelt.

An speziellen Fällen noch weiter klar zu machen, in welcher Weise die Energieverteilung in einem Körpersysteme immer wahrscheinlichere Formen annimmt, durch Beispiele zu versinnlichen, von welcher Art die Umwege sind, durch die es gelingt, ziemlich unwahrscheinliche Energieverteilungen hervorzubringen, indem man von noch unwahrscheinlicheren aber in der Natur gegebenen ausgeht und sie künstlich in die gewünschten Bahnen lenkt, muß ich mir hier leider versagen, so verlockend es auch sein möchte; ich würde mich sonst zu sehr in Einzelheiten verwickeln, die nur den Fachmann interessieren können. Ein einziges Gebiet von etwas allgemeinerer Wichtigkeit will ich berühren; vielleicht ist es Ihnen aufgefallen, daß ich bei manchen Gelegenheiten nicht im allgemeinen von Körpern, sondern nur von Gasen gesprochen habe. Der Grund hiervon liegt darin, daß in den Gasen die Moleküle sich in so großen Distanzen befinden, daß sie keine nennenswerten Kräfte mehr aufeinander ausüben; da auch die auf Gase wirkenden äußeren Kräfte meist vernachlässigt werden können, so befinden sich ihre Moleküle in der Tat ganz in der Lage der oben beschriebenen schwarzen und weißen Kugeln. Ihre Mischung nach den Wahrscheinlichkeitsgesetzen wird durch fremde Einflüsse nicht beirrt. Jeder Punkt innerhalb des Gefäßes, jede Bewegungsrichtung ist für sie gleich wahrscheinlich. Anders verhält es sich mit

den verschiedenen Werten der Größe der Geschwindigkeit. Die gesamte Energie des Gases sei gegeben. Je größer die Geschwindigkeit eines Moleküls ist, desto beschränkter wird daher die Wahl der Geschwindigkeit der übrigen Moleküle; daher sind große Geschwindigkeiten eines einzelnen Moleküles immer unwahrscheinlich bis zum extremsten unwahrscheinlichsten Falle, daß ein einziges Molekül die gesamte im Gas enthaltene lebendige Kraft, alle übrigen die lebendige Kraft Null hätten. Jedes Gasmolekül fliegt mit der Geschwindigkeit einer Kanonenkugel und stößt innerhalb einer Zeitsekunde viele millionenmal auf ein anderes. Wer könnte sich da nur ein angenähertes Bild von dem wirren Treiben der Elemente dieser Körper machen, aber die durchschnittlichen Resultate kann man mit derselben Einfachheit durch kombinatorische Analysis finden, wie die des Lottospiels.

Bei tropfbaren Flüssigkeiten und festen Körpern kommt hierzu noch die Wirksamkeit der Molekularkräfte. Tatsächlich ist zur Trennung einer flüssigen Wassermasse in die einzelnen Dampfmoleküle ein bedeutender Energieaufwand erforderlich. Man stellt sich vor, daß zwischen den Wassermolekülen anziehende Kräfte wirken, welche natürlich auch die Wahrscheinlichkeit des Beisammenseins der Wassermoleküle erhöhen.

Man könnte auch, wie schon oben angedeutet, diese Kräfte einem Medium in die Schuhe schieben. Trennung zweier Wassermoleküle müßte die Energie dieses Mediums vermehren. Der betreffende Mechanismus ist uns freilich gänzlich unbekannt; doch wird auch die Energie gewöhnlicher tropfbarer Flüssigkeiten durch relative Lagenänderungen von Wirbeln oder festen Ringen in denselben verändert. Die im Medium entstehende Energie aber ginge für die Wärmebewegung verloren. Die Trennung zweier Wassermoleküle wäre dann nicht wegen einer Anziehungskraft, sondern aus demselben Grunde unwahrscheinlicher, weshalb es oben größere Geschwindigkeiten eines Gasmoleküles waren. Durch diese Trennung würde nämlich die Wärmeenergie der Wassermasse herabgesetzt, daher die Anzahl der möglichen Energieverteilungen unter die übrigen Moleküle vermindert.

Ich kann hier nur in wenigen Strichen das Endergebnis skizzieren. Eine Flüssigkeit befinde sich in einem großen all-

seitig geschlossenen Gefäße, dessen Raum sie nicht völlig erfüllt. Ist darin sehr wenig Energie enthalten, so kann es geschehen, daß diese nicht einmal zur Abtrennung eines einzigen Moleküles ausreichen würde; dann müssen alle Moleküle aneinander geballt bleiben; wenn auch dieser Fall vielleicht wirklich niemals realisiert wird, so genügt es, daß die Abtrennung verhältnismäßig weniger Moleküle schon die ganze Energie konsumieren würde, um zu bewirken, daß über der Flüssigkeit nur verschwindend wenig Dampf steht. Bei steigender Temperatur wird sich dieser mehr und mehr verdichten, die Flüssigkeit sich mehr und mehr lockern. Betrachten wir aber jetzt den anderen extremen Fall; die gesamte Energie sei eine sehr große, dann werden ihr gegenüber die kleinen Energiemengen, welche bei Vereinigung oder Trennung zweier Moleküle aus dem Medium gewonnen werden oder in dieses übergehen, im Vergleich mit der Gesamtenergie verschwinden (die Arbeit der Molekularkräfte wird verschwinden), und die ganze Masse muß sich bei beliebig kleiner und beliebig großer Dichte wie ein Gas verhalten. Die Grenze beider Zustände ist das, was man die „kritische Temperatur“ nennt; wenig unterhalb derselben ist noch tropfbare Flüssigkeit und Dampf vorhanden, aber beide unterscheiden sich nur wenig, die Arbeit der Molekularkräfte fällt nicht mehr stark ins Gewicht, oberhalb derselben ist alles gleichmäßig, man kann nicht sagen, ob tropfbar oder gasförmig, da beide Zweige ineinander laufen.

Werden zwei verschiedene Flüssigkeiten gemischt, so erfolgt Wärmeerzeugung, wenn ihre gegenseitige Anziehung überwiegt, Kälteentwicklung im umgekehrten Fall. Es wäre nicht richtig, zu glauben, daß im ersten Falle sich die Flüssigkeiten von selbst mischen, im letzten nicht, denn die gleichmäßige Mischung ist viel wahrscheinlicher, als die vollständige Trennung, wie bei den oft erwähnten schwarzen und weißen Kugeln. Daher tritt auch bei Gasen immer Mischung ein, obwohl dieselbe von keiner irgendwie bemerkbaren Wärmeerzeugung begleitet ist. Entsteht bei der Vermischung tropfbarer Flüssigkeiten Wärme, so werden sie sich umsomehr von selbst vermengen, entsteht aber Kälte, so kann noch immer die überwiegende Wahrscheinlichkeit des gemischten Zustandes den Ausschlag geben. Erst durch bedeutendes

Überwiegen der Kohäsionskräfte wird die Tendenz nach Mischung überwunden.

Analoges tritt bei Wirksamkeit der sogenannten chemischen Affinitätskräfte auf. Es ist Tatsache, daß, wenn zwei gleichartige oder ungleichartige Atome sich in gewisser Weise miteinander vereinigen, sehr bedeutende Energiemengen frei werden. Schon die sogenannte Wertigkeit der Atome beweist, daß hier nicht bloß die Annäherung bis zu einer bestimmten kleinen Zentraldistanz das Maßgebende ist, wie wir uns die Sache wohl früher bei den Wassermolekülen denken mochten, sondern daß diese Energieentwicklung nur bei einer bestimmten relativen Lage auftritt. Bleiben wir zunächst bei einwertigen Atomen, wo sie nur bei Vereinigung eines Atompaares auftritt und ein drittes dazukommendes Atom keine erhebliche Energie mehr frei macht, betrachten wir etwa Chlorgas. Bei niedriger Temperatur ist die Trennung jedes Atompaares vermöge der großen sie begleitenden Energiekonsumption, sehr unwahrscheinlich, wie im früheren Falle die Abtrennung eines Dampfmoleküls von der tropfbaren Masse; mit steigender Temperatur werden sich immer mehr Atompaare trennen (dissoziieren), bis endlich alle dissoziiert sind. Qualitativ ist diese Hypothese längst bei den Chemikern eingebürgert, aber die Wahrscheinlichkeitsrechnung erlaubt eine quantitative Bestimmung. Die gesamte im Gase enthaltene Energie läßt sich bestimmen; wir werden daher für das Verhältnis der Zahl der undissoziierten zur Zahl der dissoziierten Moleküle eine Formel erhalten, die nur mehr zwei unbekannte aus den Beobachtungen zu bestimmende Konstanten enthält. Eine derselben ist die Energie, welche bei der Verbindung zweier einfacher Chloratome zu einem Molekül frei wird, die andere bestimmt den Raum, innerhalb dessen ein Atom relativ gegen ein zweites sich befinden muß, damit es mit ihm chemisch verbunden erscheine, ich will diesen Raum als den Verbindungsbezirk bezeichnen. Die erwähnte Formel stimmt, soweit Beobachtungen vorliegen, mit der Erfahrung.

Man hat sich hiernach die Abhängigkeit des Dissoziationsgrades vom Drucke in folgender Weise vorzustellen: Sei die Anzahl N_1 der dissoziierten Atome gegeben, so oft sich ein neues Atom in dem Verbindungsbezirke eines der-

selben befindet, entsteht ein Molekül, so oft im übrigen Raume, ist es frei. Wird daher jener übrige Raum ohne Änderung des N_1 verdoppelt, was bei der verschwindenden Kleinheit der Verbindungsbezirke auf eine Verdopplung des Gasvolumens hinausläuft, so wird die Wahrscheinlichkeit, daß zwei Atome gebunden sind, halb so groß; je größer das Volumen gemacht wird, in dem die Gasmasse enthalten ist, desto mehr wächst bei konstanter Temperatur der Dissoziationsgrad und zwar ist bei gegebener Zahl N_1 der dissoziierten Atome die Zahl N_2 der Moleküle dem Volumen verkehrt proportional. Ähnlich berechnet sich die Abhängigkeit des Dissoziationsgrades von der Temperatur. Ich versuchte für Joddampf aus den Beobachtungen Victor Meyers die bei Verbindung zweier Jodatome zu einem Moleküle frei werdende Energie und den Verbindungsbezirk zu berechnen. Erstere ergibt sich gleich $^3/_4$ der Verbrennungswärme des Wasserstoffes; letzterer Größe haftet freilich noch bedeutende Unsicherheit an, doch ist sie jedenfalls sehr klein gegen eine Kugel, welche die mittlere Distanz zweier fester Jodatome zum Durchmesser hat; ich will dies nicht als die Größe eines Jodatoms bezeichnen, um nicht in den Verdacht zu geraten, als wollte ich den Atomen irgend eine Ähnlichkeit mit festen Kugeln oder andern winzigen festen Körpern zuschreiben. Für mehrwertige Atome hat natürlich die kombinatorische Analysis eine viel schwierigere, aber nicht unlösbare Aufgabe.

Der Frage, wann sich zwei tropfbare Flüssigkeiten von selbst mischen, ist in der Chemie das Berthelotsche Prinzip analog. Die chemische Verbindung, welche die meiste Wärme erzeugt, hat immer die meiste Wahrscheinlichkeit für sich, sie wird sich immer mit Vorliebe bilden, und ist der Wärmeüberschuß bedeutend, so bildet sie sich allein, letzteres ist Berthelots Prinzip. Ist aber der Überschuß klein, so können immer auch noch andere Verbindungen in geringerer Menge mitgebildet werden; dies sind die Ausnahmen des Prinzips. Denken wir uns zweierlei einwertige Atome A und B in gleicher Zahl vorhanden, die Verbindungswärme (A_2), d. h. die Bildungswärme des Moleküls A_2 aus zwei Atomen A, sei genau so groß wie die Verbindungswärmen (B_2) und $(A\,B)$, letzteres ist die Verbindungswärme des Moleküles $A\,B$ aus einem Atom A und einem Atom B. Die drei Verbindungswärmen

seien so groß, daß ziemlich wenige Moleküle in einzelne Atome dissoziiert seien, alles sei gasförmig; dann wird nach der Wahrscheinlichkeitsrechnung die Hälfte der Moleküle die Zusammensetzung A B, je ein Viertel die Zusammensetzungen A_2 und B_2 haben oder der Partialdruck des Gases A B ist doppelt so groß wie der des Gases A_2 oder des Gases B_2. Gerade wie die Wahrscheinlichkeit zwei schwarze Kugeln zu ziehen gleich ein Viertel, die zwei weiße Kugeln zu ziehen ebenfalls gleich ein Viertel, die eine schwarze und eine weiße Kugel zu ziehen gleich ein halb ist, wenn aus gleich viel schwarzen und weißen Kugeln zwei herausgezogen werden. Ist die Bildungswärme (A B) kleiner als $\frac{(A_2)+(B_2)}{2}$, d. h. ist die Umwandlung von A_2 und B_2 in zwei A B mit negativer Wärmetönung verknüpft, so entwickelt sich jedenfalls von der Verbindung A B weniger, wenn man die beiden Körper A_2 und B_2 vermischt; allein eine meßbare Quantität der Verbindung A B kann sich trotz der negativen Wärmetönung ganz wohl entwickeln. Erst wenn letztere ein gewisses Maß überschreitet, wird die Quantität der entstandenen Verbindung unwahrnehmbar, niemals aber kann sich bei negativer Wärmetönung die Gesamtmasse in die Verbindung A B verwandeln. Jedes Eingehen auf Verbindungen von mehr als zwei Atomen, jede Anwendung auf wirkliche Fälle, z. B. eine Vergleichung mit den Untersuchungen Rathkes (Naturforschende Gesellschaft zu Halle, Bd. 15, 1881) muß ich hier unterlassen.

Wie, könnte man fragen, kommt es, daß nicht immer alle den möglichen Atomkombinationen entsprechenden Verbindungen entstehen, da doch jede eine größere oder kleinere Wahrscheinlichkeit für sich hat? Auch hierüber gibt die Rechnung Aufschluß, denn die gebildeten Mengen sind durch Exponentialgrößen gegeben, deren riesiges Anwachsen oder Abnehmen schon oft illustriert wurde, so durch die Geldsumme, die ein seit Christi Geburt auf Zinseszins angelegter Kreuzer heute repräsentieren würde, so durch das Märchen vom Erfinder des Schachspiels. Aus der oben erwähnten Formel findet man, daß Joddampf bei 30° C. allerdings auch dissoziierte Atome enthalten muß, allein in 1000 Kilogramm Joddampf würde das Gewicht der dissoziierten Atome nur den hundertmillionten Teil eines Milligramms betragen. (Daß

Jod bei der fraglichen Temperatur wenig flüchtig ist, ist hier unwesentlich. Eine noch günstigere Zahl würde sich zweifelsohne für Chlor oder Brom ergeben.) Aus dem gleichen Grunde bildet sich aus Knallgas bei gewöhnlicher Temperatur in beliebig langer Zeit keine erhebliche Wassermenge, obwohl letztere Verbindung bei weitem wahrscheinlicher ist, da vor Bildung eines Wassermoleküles mindestens ein Sauerstoff- oder Wasserstoffatom dissoziiert sein muß; dies tritt aber für Sauerstoff und Wasserstoff sicher noch unglaublich vielmal seltener ein als für Jod, wievielmal können wir nicht angeben, da uns für erstere Gase alle Daten fehlen.

Die strahlende Wärme im Innern einer vollkommen schwarzen Hülle von konstanter Temperatur entspricht den Wahrscheinlichkeitsgesetzen, dagegen sind die Lichtschwingungen unter den Temperaturverhältnissen der Erdoberfläche Bewegungen von größerer Regelmäßigkeit, daher eine ziemlich unwahrscheinliche Energieform, eine Zwischenform beim Übergang der Energie von einem sehr heißen zu einem kalten Körper, daher ihre bedeutende dissoziierende Wirkung ohne erhebliche Erwärmung.

Ich habe zuerst einen Fall offenbarer physikalischer Vermischung, später einen Fall offenbarer chemischer Verbindung betrachtet; so verschiedenartig die charakteristischen Merkmale dieser beiden Extreme sind, so ist doch eine kontinuierliche Brücke zwischen denselben durch beliebige Zwischenstufen denkbar. Es hat Helmholtz auf ganz anderem Wege gefunden, daß Wasser nie von der letzten Spur dissoziierten Wasserstoffs und Sauerstoffs befreit werden kann; nur wenn anfangs alle Atome zu H_2O verbunden gewesen wären, würde gerade auf 2H-Atome immer ein O-Atom entfallen; da aber ersteres nie der Fall war, entfällt auch letztere Konsequenz, und es kann zwischen den dissoziierten Atomen ein ganz anderes Zahlenverhältnis bestehen; daher wird auch keine chemische Verbindung absolut genau das der Formel entsprechende Zahlenverhältnis der Atome enthalten, wenn auch die Abweichungen noch millionenmal kleiner sind als die oben berechnete Quantität dissoziierter Jodatome. Es sind aber Übergangskörper denkbar, wo der eine oder der andere Bestandteil in erheblichem Überschusse sein kann. Solche Verbindungen werden nicht total andere Eigenschaften zeigen,

wie ihre Bestandteile, es werden nur besondere bei der Mischung auftretende Eigenschaften bei einem bestimmten Mischungsverhältnis ihr Maximum erreichen, es werden gewisse Atomgruppen mit Vorliebe aber nicht ausschließlich auftreten, wie sie ja absolut ausschließlich strenge genommen in keiner chemischen Verbindung sind. Je stärker das erwähnte Maximum hervortritt, desto mehr tritt der Charakter der chemischen Verbindung hervor, je abgeflachter es ist, desto mehr der der physikalischen Mischung. Die Hydrate vieler Säuren, z. B. der Schwefelsäure, die kristallwasserhaltigen Salze, die chemischen Verbindungen ähnlichen Legierungen vieler Metalle bieten hierfür Beispiele. Destilliert man solche Körper bei bestimmtem Druck oder läßt sie bei bestimmtem Druck kristallisieren, so erhält man oft Produkte von fixer Zusammensetzung, welche aber variiert, wenn jener Druck oder sonst die äußeren Umstände variieren. Die Natur kennt also auch hier keinen Sprung. Wie in die Augen springend ist der Unterschied zwischen Tier und Pflanze, trotzdem gehen die einfachsten Formen kontinuierlich ineinander über, so daß gewisse gerade an der Grenze stehen, ebenso gut Tiere wie Pflanzen darstellend. Die einzelnen Spezies in der Naturgeschichte sind meist aufs schärfste getrennt, hier und da aber finden wieder kontinuierliche Übergänge statt. Gewiß wird niemand deshalb den Begriff des Tieres oder der Pflanze oder den Speziesbegriff ausmerzen wollen, aber auf die Frage, ob eine gewisse Form eine neue Spezies ist oder nicht, wird hier und da wegen der Unmöglichkeit einer absolut scharfen Fassung des Speziesbegriffs keine Antwort möglich sein. Ebensowenig wird man je den Begriff der chemischen Verbindung abzuschaffen oder auch nur dessen Verwendung wesentlich zu ändern brauchen, und doch wird in einzelnen Fällen die Frage, ob eine chemische Verbindung oder eine Mischung vorliegt, wegen der Unmöglichkeit einer scharfen Begriffsbestimmung gegenstandslos werden. In der Tat würden diese Prinzipien, wenn sie sich als allgemein richtig erwiesen, manche von Chemikern gemachte Annahme von vorneherein ausschließen, z. B. die Rüdorffs (siehe Lothar Meyer, Moderne Theorien der Chemie, S. 236), daß Kochsalz oberhalb —9° C. wasserfrei sei, unterhalb dieser Temperatur aber zwei Moleküle Wasser chemisch gebunden

enthalte. Eine solche plötzliche Änderung der Zusammensetzung bei einer bestimmten Temperatur wäre bei einer einfachen Trennung eines Moleküls in zwei kleinere unmöglich. Es müßte jedenfalls ein endliches Temperaturintervall allmählicher Dissoziation dazwischen liegen. Ebensowenig könnte, wie Bineau meinte, das Schwefelmolekül plötzlich von einem sechsatomigen in ein zweiatomiges übergehen.

Da ein gegebenes System von Körpern von selbst niemals in einen absolut gleich wahrscheinlichen Zustand übergehen kann, sondern immer nur in einen wahrscheinlicheren, so ist es auch nicht möglich, ein Körpersystem zu konstruieren, welches, nachdem es verschiedene Zustände durchlaufen hat, periodisch wieder zum ursprünglichen Zustand zurückkehrt: ein perpetuum mobile. Und wir sind hiermit dort angelangt, wo man bei Betrachtung des zweiten Hauptsatzes gewöhnlich ausgeht. Man stellt als Axiom auf, daß es unmöglich sei, aus einer endlichen Zahl von Körpern ein perpetuum mobile zu konstruieren, dieses Axiom faßt man in Gleichungen, welche die Grundgleichungen des zweiten Hauptsatzes heißen, und nun wundert man sich, daß unter der Annahme, die Welt sei ein großes System einer endlichen Zahl von Körpern, aus diesen Gleichungen folgt, daß auch die ganze Welt kein perpetuum mobile sein könne, was doch schon in der Annahme lag. So verlockend derartige Ausblicke auf das Universum auch sein mögen, und so anregend sie sich auch oft unstreitig erweisen, ich glaube dennoch, daß wir da nur Erfahrungssätze weit über deren natürliche Grenze ausdehnen.

Da uns die Atome auf allen Gebieten der Physik und Chemie so treue Dienste leisteten, so entsteht noch die Frage, ist eine Aussicht, ja eine Möglichkeit vorhanden, aus ihnen auch die Erscheinungen des tierischen Lebens respektive das Denken und Empfinden zu erklären? Ich weiß nicht, zu wem heute noch wie einst zu Herbarth das unmittelbare Bewußtsein zweifellos sagt, daß das „Ich“ ein einfaches Wesen sei; aber die Empfindungen, die Elemente unseres ganzen Denkens, sind doch sicher etwas Einfaches? Ich glaube auch hierüber kann uns unser Bewußtsein nichts sagen; dies läßt die Empfindung vollkommen undefiniert, es sagt uns nur, daß eine Rotempfindung etwas anderes als eine Blauempfin-

dung ist, nicht aber, ob beide einfache Elemente sind oder komplizierte Dislokationen zahlloser Atome, etwa den Wellenbewegungen vergleichbar. Wir können rot empfinden, was aber die Empfindung sei, können wir nicht empfinden.

Vielleicht widerstrebt es unserem Gefühle, das, was sich uns schon bot, ehe wir zu denken vermochten, als das Zusammengesetzte, das mühevoll Erschlossene als das Einfache vorzustellen. Aber dem Gefühle möchte ich in wissenschaftlichen Fragen das Wort entziehen: ebenso waren sich die Zeitgenossen Copernikus' unmittelbar bewußt, sie fühlten es, daß sich die Erde nicht dreht. Der direkteste Weg wäre freilich, von unseren Empfindungen unmittelbar auszugehen und zu zeigen, wie wir durch sie zur Kenntnis des Universums gelangten. Aber da dies nicht zum Ziele führen will, laßt uns den umgekehrten Weg wandeln, den der Naturwissenschaft. Wir machen die Hypothese, es hätten sich Atomkomplexe entwickelt, die im Stande waren, sich durch Bildung gleichartiger um sich herum zu vermehren. Von den so entstandenen größeren Massen waren jene am lebensfähigsten, die sich durch Teilung zu vervielfältigen vermochten, dann jene, denen eine Tendenz innewohnte, sich nach Stellen günstiger Lebensbedingungen hin zu bewegen.

Dies wurde sehr gefördert durch Empfänglichkeit für äußere Eindrücke, chemische Beschaffenheit und Bewegung des umgebenden Mediums, Licht und Schatten usw. Die Empfindlichkeit führte zur Entwicklung von Empfindungsnerven, die Beweglichkeit zu Bewegungsnerven; Empfindungen, an welche sich durch Vererbung die fortwährende mächtig zwingende Meldung an die Zentralstelle knüpft, sie zu fliehen, nennen wir Schmerzen. Ganz rohe Zeichen für äußere Gegenstände blieben im Individuum zurück, sie entwickelten sich zu komplizierten Zeichen für verwickelte Verhältnisse, nach Bedürfnis wohl auch zu ganz rohen wirklichen inneren Nachahmungen des Äußeren, wie der Algebraiker die Größen mit beliebigen Buchstaben bezeichnen kann, aber mit Vorliebe die Anfangsbuchstaben entsprechender Wörter wählt. Ist für das Individuum selbst ein entwickeltes derartiges Erinnerungszeichen vorhanden, so definieren wir dies als Bewußtsein. Dabei ist von den eng damit verknüpften klar bewußten Vorstellungen bis zu dem im Gedächnis aufgespeicherten, bis zu

den unbewußten Reflexbewegungen eine kontinuierliche Brücke. Sagt uns unser Gefühl da nicht wieder, daß das Bewußtsein noch etwas ganz anderes ist? Aber ich habe dem Gefühle das Wort entzogen. Erklärt die Hypothese alle betreffenden Erscheinungen, so wird es sich fügen müssen, wie es in der Frage der Achsendrehung der Erde geschah. Eine viel spätere, aber nur auf diesem Wege lösbare Frage wird es dann sein, wie wir aus den Empfindungen, welche für unser Denken die einfachsten Elemente sind, zur Hypothese gelangen konnten. Doch ich muß enden, will ich nicht meinem Vorsatze, die Metaphysik beiseite zu lassen, untreu werden. Von dem, was ich sagte, entspricht vielleicht vieles nicht der Wahrheit, aber alles meiner Überzeugung. Nur dadurch, daß jeder, wo und wie er eben kann, weiter arbeitet, können wir der Wahrheit näher kommen oder, wie der Dichter sagt, durch „Beschäftigung, die nie ermattet, die langsam schafft, doch nie zerstört, die zu dem Bau der Ewigkeiten zwar Sandkorn nur für Sandkorn reicht, doch von der großen Schuld der Zeiten Minuten, Tage, Jahre streicht“.

So bin auch ich befriedigt, wenn mein heutiger Vortrag zur Verbreitung der Naturkenntnis ein Sandkorn beigetragen hat.

Gustav Robert Kirchhoff.[1])

Vorwort.

Als ich mich entschlossen hatte, der Aufforderung einiger akademischer Freunde entsprechend, bei dem im Titel erwähnten Anlasse über Kirchhoff zu sprechen, wandte ich mich sogleich an mehrere Kollegen mit der Bitte um Daten aus dessen Leben. Für die große Freundlichkeit, mit welcher diese Bitte erfüllt wurde, sage ich hier allen meinen wärmsten Dank, besonders den Hrn. Proff. Königsberger und Quincke in Heidelberg und Krause in Rostock; außerdem noch dem Hrn. Premierleutnant Kirchhoff, dem Sohne des Verewigten. Einiges entnehme ich auch einem Artikel Hrn. Otto Neumann Hofers in der Grazer Tagespost. — Der schöne Nekrolog Hrn. Prof. Hofmanns in den Berichten der chemischen Gesellschaft zu Berlin kam mir erst zur Hand, als das vorliegende bereits geschrieben war.

Bei Ausarbeitung meines Vortrags wuchs leider der über Kirchhoffs Arbeiten handelnde Teil so sehr an, daß ich aus Rücksicht auf die disponible Zeit alles Biographische weglassen mußte. Vielleicht ist es jedoch den Lesern meines Vortrags nicht ganz unwillkommen, wenn ich an dieser Stelle einiges vom gesammelten Materiale mitteile, vielfach wörtlich nach den erhaltenen Briefen. Selbstredend wollte ich lediglich das Gedächtnis Kirchhoffs feiern und hatte nie die Absicht einen Nekrolog oder eine Biographie Kirchhoffs zu schreiben; ich wäre sonst, da ich nur einmal vor

1) Festrede zur Feier des 301. Gründungstages der Karl-Franzens-Universität zu Graz, gehalten am 15. November 1887. Kirchhoff ist am 12. März 1824 in Königsberg geboren und am 17. Oktober 1887 in Berlin gestorben.

etwa 17 Jahren ganz flüchtig und vorübergehend mit Kirchhoff verkehrte, in der mißlichen Lage eines Malers, der ein Porträt ganz aus dem Gedächtnisse entwerfen soll; doch mag das folgende immerhin als Vorarbeit nicht ganz ohne Nutzen sein, wenn später von berufener Feder eine Biographie geliefert wird.

Nichts Außergewöhnliches in Kirchhoffs Leben entspricht der Außergewöhnlichkeit seines Genius; seine Laufbahn war vielmehr die gewöhnliche des deutschen Universitätsprofessors. Die großen Ereignisse vollzogen sich bei ihm lediglich im Gehege seines Kopfes. Kirchhoff war zu Königsberg, das sich gerne die Stadt der reinen Vernunft nennen läßt, am 12. März 1824 geboren. Sein Vater, Justizrat daselbst, war ein stiller ernster Mann, seine Mutter, deren er, wie soviele große Geister Deutschlands stets mit besonderer Pietät gedachte, eine lebhafte, geistig rege Frau. Einer der Brüder Kirchhoffs starb zu Berlin als praktischer Arzt, der andere war daselbst Obertribunalrat und ist jetzt Reichsgerichtsrat in Leipzig. Mit diesen beiden älteren Brüdern besuchte Kirchhoff das Kneiphöfsche Gymnasium in Königsberg. Mit 18 Jahren maturierte er und kam an die Universität seiner Vaterstadt, wo er Franz Neumann, der jetzt der Vater und Nestor der neuen theoretischen Physik genannt werden kann, und den Mathematiker Richelot hörte. Des ersteren Einfluß auf Kirchhoffs Vorlesungen und Forschungen blieb bis in die späteste Zeit bemerkbar, des letzteren Tochter Clara wurde 1857 Kirchhoffs erste Frau. In Neumanns mathematischem Seminare brachte Kirchhoff — 21 Jahre alt — seine erste Arbeit über den Durchgang der Elektrizität durch Platten. Mit 23 Jahren wurde er promoviert und erhielt ein damals selten gewährtes Stipendium zu einer wissenschaftlichen Reise nach Paris, an deren Ausführung ihn jedoch die politischen Unruhen verhinderten. 1848 habilitierte er sich in Berlin; von dort wurde er 1850 als außerordentlicher Professor nach Breslau berufen, wo Frankenheim Ordinarius für Physik war. Ein günstiges Geschick, welches für Kirchhoffs Leben entscheidend wurde, führte 1851 Bunsen von Marburg nach Breslau, und wenn auch Bunsen schon ein Jahr darauf einem Rufe nach Heidelberg an Gmelins Stelle folgte, so hatte diese Zeit doch

ausgereicht, um beide Männer fürs Leben wissenschaftlich und persönlich miteinander zu verbinden, so daß Bunsen, als Jolly 1854 nach München ging, keinen besseren vorzuschlagen wußte als Kirchhoff — und wie sehr hat ihm die Zeit Recht gegeben! Vier Jahre später trat Helmholtz, damals als Professor der Physiologie und später auch der Mathematiker Königsberger in diesen Kreis. Die ungetrübteste Freundschaft verband diese Männer auch mit Zeller, Kopp, Häußer, von Vangerow u. a.

Kirchhoffs damalige theoretische und experimentelle Vorlesungen zogen Schüler aus allen Ländern herbei, denen er nicht bloß ein verehrter Lehrer und mächtig anregender Berater, sondern auch ein warmer Freund war. Sein Vortrag war ruhig, klar, sorgsam durchdacht, kein Wort zu viel, keines zu wenig, weshalb er in kurzer Zeit ungewöhnlich Vieles und Reichhaltiges bot. Er liebte es dabei den einen oder andern Zuhörer anzusehen und ihm gewissermaßen an den Augen abzulesen, ob er das Vorgebrachte verstände. Seine experimentellen Demonstrationen waren stets präzise und elegant durchgeführt, oft durch selbsterfundene Apparate z. B. sein Elektrometer gestützt. Kirchhoffs Zeit war strenge eingeteilt; er arbeitete lieber beim Scheine des Tagesgestirns, dessen Kenntnis er so sehr gefördert, selten nach 8 Uhr abends. Sein Leben war äußerst zurückgezogen, doch liebte er heitere ungezwungene Geselligkeit. Im Umgange war er ungemein gefällig und liebenswürdig gegen jedermann, aufopfernd gegen seine Freunde, jedoch stets von einer vornehmen, gegen Fremde etwas zurückhaltenden Bescheidenheit. Es bedurfte einer gewissen Initiative, bis er warm wurde, was am raschesten im wissenschaftlichen Gespräche geschah. Dann aber war er hinreißend; dann sagte er rückhaltlos seine Meinung und ließ es auch an scharfen Urteilen nicht fehlen über das, was ihm widerstrebte. Doch geriet er dabei nie in Zorn, nicht einmal in heftige Erregung; es konnte gewissermaßen nichts seine innere Harmonie stören. Er war so wahrheitsliebend, daß er jeder Behauptung, deren er nicht absolut sicher war, ein „vielleicht“ oder „wahrscheinlich“ beizufügen pflegte; dafür galt er aber in dem, was er sicher behauptete, allen als Autorität.

1869 starb Kirchhoffs erste Frau und hinterließ ihm

zwei Söhne und ebensoviele Töchter. Kirchhoffs ältester Sohn ist jetzt Premierleutnant in Saarlouis, der jüngere Assistent des Chirurgen v. Bergmann in Berlin, die ältere Tochter ist an den Professor der Geologie Branco in Königsberg verheiratet. Schon 1868 hatte sich Kirchhoff durch Übertreten eines Beines ein hartnäckiges Fußleiden zugezogen, welches ihn lange an die Krücke oder in den Rollstuhl zwang, später zwar wieder nachließ, aber nie ganz wich.

Um Weihnachten 1872 verheiratete sich Kirchhoff zum zweiten Male mit Frl. Luise Brömmel aus Goslar, welche zur Zeit die Oberaufsicht in der Augenklinik Prof. Beckers in Heidelberg führte. Diese Ehe war zwar kinderlos aber wieder so glücklich, daß er einmal äußerte, ihm habe des Lebens Mai zweimal geblüht.

Der Zauber der schönen Neckarstadt, der altehrwürdigen Ruperta Carolina und nicht am wenigsten der schönen im Freundeskreise daselbst verlebten Stunden war so mächtig, daß Kirchhoff einen glänzenden Ruf an Magnus Stelle, sowie einen zweiten an die leitende Stelle der inzwischen in Potsdam errichteten Sonnenwarte ausschlug. Erst als ihm zunehmende Kränklichkeit die experimentelle Tätigkeit mehr und mehr verleidete und unter dem Einflusse gewisser bedauerlicher Vorgänge an der Heidelberger Hochschule, gelang es der Universität der Hauptstadt des neuen deutschen Reiches Kirchhoff bei der dritten Berufung im Jahre 1875 zu gewinnen, wo sich ihm als Professor der theoretischen Physik eine neue glänzende Laufbahn eröffnete, und wo er fernab vom Experimente sein Leben beschloß. 1884 daselbst zum Rektor gewählt, schlug er wegen Kränklichkeit dieses Ehrenamt aus und mußte bald auf dringendes Anraten seiner Ärzte hin seine Vorlesungen unterbrechen; im Wintersemester 1885/86 nahm er diese unter Aufbietung aller seiner Kräfte noch einmal auf — zum letzten Male. Den Sommer darauf brachte er in Baden und den nächsten in dem schon seit der Heidelbergerzeit von ihm so sehr geliebten Harze in Wernigerode zu, wo er, der stets ein warmer Naturfreund gewesen, im Kreise seiner Familie noch einmal Ausflüge im Rollstuhle machte. Körperlich gebrochen aber noch immer geistig frisch und heiter kehrte er nach Berlin zurück, seine letzten Leiden, wie alle früheren mit der erhabensten Geduld und Sanftmut

tragend. Bald erregten wiederholte Fieberanfälle die Besorgnis seiner Umgebung. Seine Frau, welche die letzten Nächte wachend an seinem Bette zubrachte, ruhte am 17. Oktober d. J. morgens kurze Zeit aus — als sie erwachte, war ein großer und edler Mensch nicht mehr, sanft und friedlich war er entschlafen. Ein schweres, aber schmerzloses Gehirnleiden hatte nach dem Ausspruche der Ärzte seinem Leben ein Ende gemacht.

So übergebe ich denn die folgende Rede (mit mehreren Zusätzen und wesentlichen Abänderungen) dem Publikum, zufrieden, wenn sie nur einen kleinen Teil jener Erhebung mitzuteilen vermag, welche mir ihre Abfassung bot.

Graz, im November 1887.

(Ludwig Boltzmann.)

Hochansehnliche Versammlung!

Die Feier, welche voriges Jahr in diesen Räumen unsere Herzen höher schlagen machte, sie ist verrauscht; war sie auch nicht mit dem Prunkgewande äußeren Pompes angetan, das geistige Prunkgewand edler Erhebung, es hat ihr nicht gefehlt. Wie Kinder zu ihrer geliebten Mutter, so blickten wir Söhne unserer Alma Mater mit warmer Begeisterung und treuer Liebe zu ihr auf an ihrem Ehrentage, und wir wußten warum.

Mir fällt nun heute die Aufgabe zu, wieder einzulenken in das Einerlei des Alltagslebens, das, gleichwie beim Baue durch Menschenhand Stein auf Stein zusammengefügt wird, Jahr an Jahr reiht — ich bin dessen sicher —, zu neuem Ruhme unsrer Alma Mater, bis in fernen Zeiten ein später Nachfolger wieder einen gleichen Festtag verkündet.

Und doch ist auch der Eintritt ins dreihundert erste Jahr des Daseins nicht ohne Anlaß zu ernsten Betrachtungen.

Fordert der dreihundertjährige Jubeltag auf zum Rückblicke in die Vergangenheit, zur Freude an dem, was unsere Universität gewesen und geworden, so ladet der heutige Tag ein zum Blicke in die Zukunft, in den heute sich auftuenden, noch undurchmessenen Raum des vierten Jahrhunderts.

Da betrachte ich es als einen glücklichen Zufall, daß die Aufgabe diesen Blick zu tun, gerade einem Vertreter der Naturwissenschaft zufiel, einem Vertreter der Physik, der Mutter aller übrigen Naturwissenschaften, welche den mathematischen Disziplinen die Nahrung, den speziellen Naturwissenschaften die Gesetze gibt.

Sinn und Herz des akademischen Lehrers mangelt mir nicht so sehr, daß ich nicht das schöne Wort universitas verstünde, daß ich nicht das Wesen unserer Hochschule in der Zusammenfassung aller Zweige menschlichen Wissens erblickte; aber nur dadurch wird das Ganze gefördert, daß jeder seine eigene Fahne hochhält, und daher werden Sie es mir nicht verargen, wenn ich mich vermesse unter der der Naturwissenschaft unsere Alma Mater ins anbrechende Jahrhundert einzuführen.

Wie Faust dem Weltgeiste, so steht der Sterbliche zitternd der abstrakten Wissenschaft gegenüber; ihre unergründliche Tiefe erschreckt ihn; was er auch errungen, ein Blick in den Sternenraum, ein Gedanke an die Urgesetze des Geschehens und des Lebens, und es verschwindet. So gerne ruht da das Auge, geblendet vom Glanze der Unendlichkeit, aus auf einem Helden der Wissenschaft, der uns in ihrer Bewältigung ein Vorbild ist, und doch Mensch wie wir; und wer könnte uns da ein besseres Vorbild sein, als der große Fürst im Reiche des Gedankens, der erst vor wenigen Wochen der Welt entrissen wurde, Gustav Robert Kirchhoff? Mein Verzeichnis der Berufsgenossen, denen ich meine Schriften zusende, wie viele schwarze Striche weist es bereits auf! Aber noch nie machte ich einen neuen mit so schwerem Herzen als im verflossenen Oktober. — Möge es meiner schwachen Kraft gelingen in dieser flüchtigen Stunde sein erhabenes Bild in unsere Mitte zu bannen und an seinem Geiste unseren Geist zu beleben. —

Nicht der Flitter äußeren Glanzes ist es, den ich Ihnen da vorzuführen habe, äußerer Prunk war Kirchhoffs Sache nicht, in desto reinerem Sinne aber war er mit jenem geistigen Prunkgewande angetan, von dem ich eingangs sprach; in seiner edlen Bescheidenheit und herzgewinnenden Güte war

er so recht das Urbild des deutschen Gelehrten. Seine hochgewölbte Denkerstirne, seine vornehm ruhigen Züge, sein mildes blaues Auge, das so feurig, so bezaubernd blicken konnte, ruhen nun im Grabe, — hätte ich den Pinsel Raphaels, die Zunge Homers, ich könnte sie nicht vor Sie hinzaubern. Nur sein geistiges Bild, das Bild seiner Werke will ich zagend zu entwerfen suchen.

Wenn auch das Kämpfen und Ringen auf dem Arbeitsfelde der Wissenschaft stets nur das Vorrecht weniger sein wird, das Errungene selbst ist heute längst das Gemeingut aller geworden. Daher gibt es wohl kaum einen Gebildeten, vor dessen Seele bei Nennung des Namens Kirchhoff nicht das Bild des noch so jungen, aber bereits so mächtigen, an der Grenze der Physik, der Chemie und der Astronomie emporgewachsenen Wissenschaftszweiges träte — der Spektralanalyse. Soll ich da nicht längst Bekanntes wiederholen, so muß ich mich kurz fassen, und doch verbietet zu große Kürze die Schwierigkeit des Gegenstandes. Möge ich das richtige treffen.

Die Einheit der Naturkräfte überall aufzudecken, ist ein Hauptziel der Naturwissenschaft. Da gelang es schon längst die nahe Verwandtschaft von Schall und Licht nachzuweisen; beide sind schwingende zitternde Bewegungen. Im ersten Falle lehren die einfachsten Experimente, daß das Tempo der Erzitterungen, die sogenannte Schwingungsdauer, die Tonhöhe bestimmt; im letzten Falle wird durch die Schwingungsdauer die Farbe definiert, wie schon Huyghens ahnte und Fresnel nachwies. Die Farbe ist also in der Optik genau das, was in der Akustik die Tonhöhe ist; nur ein quantitativer Unterschied besteht, die Lichtschwingungen geschehen billionenmal schneller. Dies bewirkt, daß der Schall um die Ecke geht, daß ihm die Haupteigenschaft des Lichtes, das Bestreben die ursprüngliche Richtung beizubehalten, fehlt. Dementsprechend ist auch unser Ohr zur Auffassung der Richtung, aus welcher der Schall kommt, nur sehr unvollkommen befähigt; dagegen in geradezu staunenerregendem Maße zur Auffassung der Schwingungsdauer, also der Tonhöhe. Von 30 bis 30000 Schwingungen in der Sekunde, vielleicht noch etwas weiter geht die sichere musikalische Tonempfindung; sie umfaßt also gut 10 Oktaven, deren jede 12 halbe Töne

hat. Da ein geübtes Ohr den zehnten Teil eines halben Tones bemerkt, so vermögen wir sicher 1200 verschiedene Tonhöhen zu unterscheiden. Dazu kommt noch, daß wir in einem Zusammenklange jeden einzelnen Ton heraushören können; der geübte Kapellmeister vermag mitten im Brausen des Orchesters jeden falschen Ton zu erkennen. Dies befähigt auch mit Hilfe der Obertöne zur Perzeption der sogenannten Klangfarbe; wenngleich die Obertöne meist nicht einzeln zum Bewußtsein kommen, so bemerkt das Ohr doch selbst unbedeutende Veränderungen jedes einzelnen derselben.

Wie überhaupt in der Natur kein Wesen dem andern, so gleicht auch das Gesetz der Schwingungen für keinen schwingenden Körper ganz dem des anderen, und vermöge seines bewunderungswürdigen Perzeptionsvermögens vermag das Ohr jeden Ton von jedem andern zu unterscheiden. Hunderte von Menschen erkennen wir jeden an seiner Stimme, und welche tausendfältigen Modulationen vermag wieder jeder derselben in einen Laut, einen Seufzer zu legen, und das Ohr vermag alle diese Modulationen zu unterscheiden. Im grellen Gegensatze hierzu zielt beim Auge alles auf Erfassung der Richtung ab, aus welcher der Lichtstrahl kommt. Tausende von Nervenendigungen dienen jede einer anderen Richtung, und dadurch, daß wir unterscheiden, aus welcher Richtung des Raumes jeder Lichtstrahl unser Auge trifft, können wir uns ein Bild der umgebenden Objekte machen. Dafür ist die Unterscheidung der verschiedenen Schwingungsdauern oder, was auf dasselbe hinauskommt, der verschiedenen Farben eine äußerst dürftige. — Während beim Ohre tausende, so dienen hier wahrscheinlich nur drei verschiedene Elemente der Auffassung des ganzen Farbenumfanges; daher die geringe Ausdrucksfähigkeit eines Farbenspieles, etwa eines bunten Feuerwerkes, gegenüber der eines Musikstückes, daher namentlich die geringe Fähigkeit, Mischfarben als verschieden zu erkennen, aus einem Farbengemische die Bestandteile herauszusehen. Aus drei verschiedenen Farben, rot, grün und violett, vermag man durch passende Mischung alle Farben herzustellen, welche selbst der geübteste Maler unterscheidet, — die Farbenmannigfaltigkeit gleicht einem musikalischen Instrumente, das nur dreier verschiedener Töne fähig ist, die

im allgemeinen mit verschiedener Intensität gleichzeitig erklingen. Das Auge ist eben zu sehr durch die Raumwahrnehmung in Anspruch genommen, und da bleibt nur wenig Raum übrig für die Wahrnehmung der Schwingungsdauer; oder hat der Schöpfer absichtlich nicht einem Sinne alle Vollkommenheiten gewährt und schenkte uns dafür einen Kirchhoff, der, wie wir sehen werden, durch seinen Scharfsinn diese Lücke ausfüllte.

Da das Auge Raumsinn ist, so müssen die Farben, wenn sie gesondert zur Wahrnehmung gelangen sollen, räumlich getrennt werden, und jeder hierzu dienende Apparat heißt im weitesten Sinne Spektralapparat.

Den einfachsten Spektralapparat bietet uns die Natur im farbenglänzenden Tautropfen; manche andere Farbenerscheinung gehört ebenfalls im weitesten Sinne zu den Spektralerscheinungen, z. B. das schon im Altertume beobachtete Phänomen, daß ein in tiefem, sehr klarem Wasser fallender Kiesel einem umgekehrten Flämmchen ähnelt, indem er oben blau, unten rot gefärbt scheint. Tausende von Regentropfen im Scheine der Abendsonne erzeugen ein Spektrum von bemerkenswerter Reinheit — den Regenbogen, welcher bereits in gewissem Sinne analysiert, indem er um die Zeit des Mittags reich an blauen und violetten Strahlen ist, bei Sonnenuntergang aber fast nur rote enthält. — Newton ahmte den Regenbogen künstlich durch das Prisma nach, aber Newtons Prisma trennte die Farben nicht scharf, das heißt an jeder Stelle war noch Licht von ziemlich verschiedener Schwingungsdauer gemischt. Es glich einem Violinspiele, bei welchem die Töne nicht rein, sondern nur beiläufig angegeben werden. Eine scharfe Trennung gelang Wollaston, der zuerst schwarze Linien im Sonnenspektrum wahrnahm; eingehender untersuchte sie dann der berühmte Optiker Fraunhofer, dessen Namen sie noch heute tragen. — Es konnte nicht fehlen, daß man außer der Sonne auch noch andere Lichtquellen durchs Prisma betrachtete, und da sah man merkwürdige helle Linien, von denen einige in der Lage auffallende Ähnlichkeit mit den dunklen Linien des Sonnenspektrums hatten, namentlich eine helle gelbe Linie, meist die Anwesenheit von Natrium begleitend, schien vollkommen mit der von Fraunhofer mit D bezeichneten dunklen Linie zu-

sammenzufallen. Kirchhoff interessierte sich von Anfang an hierfür sehr, doch gute, zur Darstellung der Fraunhoferschen Linien taugliche Flintglas-Prismen gab es damals noch selten. Erst 1857 erhielt Kirchhoff das erste, von Fraunhofer selbst geschliffene Flint-Prisma. Sofort machte er sich mit Bunsen an die Prüfung der Beziehung des gelben Streifens zur D-Linie; er erzeugte ein Sonnenspektrum und betrachtete darin die D-Linie, dann brachte er zugleich eine kochsalzhaltige Flamme ins Gesichtsfeld und erwartete die früher schwarze Linie nun hell zu sehen. Bei schwachem Wolkenlichte geschah dies auch, aber bei hellem Sonnenlichte wurde die dunkle Linie noch breiter und schwärzer. Mit den Worten: „das scheint mir eine fundamentale Geschichte“ — verließ er das Zimmer und am nächsten Tage hatte er die Ursache gefunden; die dunklen und hellen Linien sind nicht wesentlich verschieden; jeder Körper absorbiert genau dasselbe Licht, welches er aussendet, — ist er hell auf dunklem Grunde, so erscheinen auch seine Linien hell auf dunklem Hintergrunde, — ist er dagegen selbst schwach leuchtend und sieht man durch ihn hindurch eine hellere Fläche, so erscheinen dieselben Linien dunkel im hellen Felde. — Kirchhoff hatte seinen Satz von der Beziehung zwischen Absorptions- und Emissionsvermögen, den Satz von der Umkehrung der Spektrallinien, gefunden.

Nachdem die einheitliche Natur aller dieser Linien festgestellt war, kam die Frage nach ihrer Unveränderlichkeit.

Ist jeder Mensch durch den Klang seiner Stimme, jedes musikalische Instrument — ja jede Fensterscheibe, jedes Trinkglas durch seinen eigentümlichen Ton charakterisiert, warum sollte nicht auch jede Substanz durch die Schwingungsdauer des von ihr ausgesandten oder absorbierten Lichtes charakterisiert sein? — Hier kamen die Forschungen Bunsens sehr zugute. Es war schon lange bekannt, daß die meisten Substanzen der Lötrohrflamme, sobald sie durch deren Hitze verflüchtigt und lebhaft glühend werden, eine charakteristische Farbe erteilen, Natrium eine gelbe, Lithium eine rote, Kupfer eine grüne, und man hatte diesen Umstand schon längst zur qualitativen Analyse benützt. Ein Körper, der das charakteristische Gelb zeigte, war sicher Natrium. Brachte man aber ein Gemisch verschiedener Substanzen in die Flamme,

so scheiterte diese Methode an der Unfähigkeit des Auges, in einem Farbengemische die Bestandteile zu erkennen. Bunsen und sein Schüler Cartmell versuchten dies durch farbige Gläser zu erleichtern; ein rotes Glas blendete die Farben der übrigen Bestandteile ab, und man konnte das Rot des Lithiums besser unterscheiden. Kirchhoff erkannte sofort, wie dieser Zweck viel vollkommener erreicht würde, wenn man alle Strahlen von verschiedener Schwingungsdauer in ein reines Spektrum räumlich auseinander legte. Die Farbe jedes Bestandteiles des Gemisches mußte dann an einer anderen Stelle des Spektrums zum Vorschein kommen und jeder Bestandteil sofort an seiner Farbe zu erkennen sein.

Kirchhoff konstruierte nun einen ausgezeichneten Spektralapparat mit vier Fraunhoferschen Flintglas-Prismen und vielen feinen Meßvorrichtungen. Es zeigte sich, daß im glühenden und flüchtigen Zustande, wo die Moleküle unbeirrt von ihren Nachbarn schwingen, jeder Körper nur ganz bestimmtes, ihn charakterisierendes Licht aussendet. Die wenigsten Körper jedoch senden nur Licht von einer einzigen Schwingungsdauer aus; die meisten vielmehr gleichzeitig verschiedene Strahlen von verschiedenen Schwingungsdauern; das heißt, sie geben viele Spektrallinien.

Bringt man ein Gemisch von Körpern in die Flamme, so treten die Spektrallinien jedes Bestandteiles räumlich getrennt nebeneinander auf, so daß man jeden unzweideutig mit voller Sicherheit erkennen kann. Die Spektrallinien der wichtigsten chemischen Elemente wurden im Vereine mit Bunsen genau gezeichnet und auch das Sonnenspektrum sorgfältig untersucht. In letzterem fanden sich die Linien von Natrium, Eisen, Nickel, Mangan und vielen anderen Stoffen, — aber natürlich dunkel auf hellem Grunde. Alle diese Untersuchungen, welche die Grundlage der Spektralanalyse für alle Zeiten bilden, wurden im Jahre 1859 und den folgenden Jahren veröffentlicht.

Wir sahen, daß das Ohr etwa 1200 verschiedene Tönhöhen, das heißt ebensoviele verschiedene Schwingungsdauern zu unterscheiden vermag.

Kirchhoffs Skala teilt den sichtbaren Teil des Spektrums in 3000 Teile; ein Zehntel eines solchen Skalenteiles vermag das Auge noch zu erkennen, so daß man also im

leicht sichtbaren Teile des Spektrums Strahlen von etwa 30000 verschiedenen Schwingungsdauern, gewissermaßen 30000 einfache Farben zu unterscheiden vermag, — wie sehr ist also das mit Kirchhoffs Spektralapparate bewaffnete Auge auch in bezug auf Unterscheidung der Schwingungsdauern dem Ohre überlegen, wobei natürlich auch jeder Bestandteil eines Farbengemisches noch viel vollkommener als durch das Ohr einzeln wahrgenommen werden kann. Diese Überlegenheit erstreckt sich auch auf die Unterscheidung verschiedener Schwingungsformen, die ja immer durch Übereinanderlagerung von Strahlen verschiedener Schwingungsdauer mit Sinuscharakter entstanden gedacht werden können. Sie wurde noch gesteigert, da später namentlich Angström und Rowland die Spektralbeobachtung noch verfeinerten und Langley mittelst des Bolometers die Grenze des beobachtbaren Spektrums nach unten um etwa 6 Oktaven, Soret durch das fluoreszierende Okular nach oben um eine gute Oktave erweiterte. Das Auge wurde dadurch gewissermaßen ein ganz neuer Sinn. Nur durch die sinnliche Wahrnehmung aber ziehen die Vorstellungen in unseren Geist ein. Wer daher erstere erweitert und verfeinert, der durchbricht eine Schranke für unseren Geist, und wie sehr hat dies in unserem Falle der Erfolg bestätigt.

Schon wenige Tage nach der Erfindung der Spektralanalyse entdeckte Bunsen durch sie zwei neue Metalle; die Entdeckung zahlreicher anderer folgte und zwar fast ausschließlich mit Hilfe der Spektralanalyse, von deren Empfindlichkeit man eine Vorstellung gewinnt, wenn man bedenkt, daß nach Roscoe noch der dreimillionte Teil eines Milligramms Kochsalz mit Sicherheit spektral nachgewiesen werden kann. In der Physik hat das Spektrum zu den weittragendsten Forschungen auf dem Gebiete der Doppelbrechung, der Drehung der Polarisationsebene, aber auch auf nicht optischen Gebieten, wie dem der Flüssigkeitsdiffusion geführt; in der Physiologie zur Auffindung des Gesetzes der Farbenmischung, der Farbenwahrnehmung, der Farbenblindheit etc.

Die Astronomen entdeckten nicht nur die meisten irdischen Stoffe in der Sonne und den übrigen Weltkörpern und bewiesen somit die Gleichartigkeit aller Materie im Welt-

raume, sondern es gelang auch drei Typen der physikalischen Beschaffenheit der Fixsterne zu finden. Der erste Typus enthält Sterne, deren Beschaffenheit wesentlich der der Sonne gleicht; der zweite zeichnet sich durch dunkle Banden im Spektrum aus. Da solche immer durch Körper von verhältnismäßig tiefer Temperatur entstehen, so sind dies abgekühlte Sterne, welche relativ gegen unsere Sonne im Greisenalter stehen. Die Sterne des dritten Typus haben Spektra mit hellen Linien, unter denen namentlich die des Wasserstoffs vorherrschen, sich aber auch einige befinden, die keinem irdischen Stoffe entsprechen; dieselben sind also entweder reine Gasbälle ohne festen Kern oder es ist bei ihnen doch die Gasatmosphäre so vorherrschend, daß unser Blick nicht bis zum festen Kerne zu dringen vermag. Es sind dies die jugendlichen Sterne, die wahrscheinlich erst nach Aeonen sich bis zur Konsistenz der Sonne verdichten werden. Die Spektralbeobachtung der Nebelflecken, des Nordlichts und der Kometen ergab höchst merkwürdige Resultate, deren Deutung größtenteils Aufgabe der Zukunft sein wird. Bekannt ist, daß auf letzteren Himmelskörpern Kohlenwasserstoffe, wie sie bei uns die Grundlage der organisierten Materie sind, und Alkoholdämpfe gefunden wurden, so daß dort die Vorbedingung erfüllt ist, die Lessing in einem seiner Trinklieder als die wichtigste für die Bewohnbarkeit erklärt.

Im Spektrum der Sonne erscheinen die Linien dunkei, weil sich nach Kirchhoff die erzeugenden Stoffe in der Atmosphäre der Sonne befinden, die sich auf den noch weit helleren Sonnenkörper projiziert. Unmittelbar neben dem Rande des Sonnenkörpers sieht man dagegen offenbar nur die ihn überragende Sonnenatmosphäre projiziert auf den dunklen Weltraum. Dort müßte man also dieselben Linien hell erblicken, wenn Kirchhoffs Ansichten richtig sind. Dies zu prüfen, namentlich am Sonnenrande die hellen Natriumlinien zu erblicken, war längere Zeit Norman Lockyer bemüht, jedoch ohne Erfolg. Er konnte das alles überstrahlende Licht des Sonnenkörpers nicht scharf genug von dem der darüber lagernden Sonnenatmosphäre trennen. Da kam eine totale Sonnenfinsternis zu Hilfe. Janssen, der behufs ihrer Beobachtung von der Pariser Akademie nach Indien geschickt worden war, sah 1869 die ersten hellen Linien im Sonnen-

lichte. Die Trennung des Lichtes der Sonnenscheibe von dem der darüber hinausragenden Atmosphäre besorgte hier der Mond, indem er erstere bedeckte. Man sah zugleich den bisher gemachten Fehler. Weil die Umkehrung zuerst bei der Natriumlinie geglückt war, so hatte man in der Sonnenatmosphäre immer die helle Natriumlinie gesucht und sich dadurch die Trennung sehr erschwert, da der Natriumdampf vermöge seines großen Gewichtes sich nur wenig über den Sonnenkörper erhebt. Dagegen erhebt sich das leichteste der Gase, das Wasserstoffgas sehr hoch und seine hellen Linien waren es in der Tat, die Janssen erblickte. Nachdem er wußte, was und wo zu suchen war, gelang es Janssen schon am nächsten Tage auch ohne Sonnenfinsternis das Licht der Sonnenatmosphäre von dem des Sonnenkörpers genügend zu trennen und die hellen Wasserstofflinien zu sehen. Da das Spektroskop das Sonnenlicht beliebig zerstreut, die Wasserstofflinien aber nicht, so konnte er mittelst desselben auch die eigentümlichen Wellen, Wolken und vulkanischen Ausbrüche, Protuberanzen genannt, bei hellem Sonnenscheine sichtbar machen, welche sich in dieser Wasserstoffatmosphäre der Sonne vorfinden, und welche man schon früher bei totalen Sonnenfinsternissen sah, aber niemals hatte deuten können. „Wir haben jetzt alle Tage totale Sonnenfinsternis,“ telegraphierte er nach Paris in der ersten Freude diese schönen Gebilde nun täglich beobachten zu können. Nun wußte auch Lockyer, wohin seinen Apparat richten und sah in wenigen Tagen ebenfalls die hellen Wasserstofflinien. Ich muß der Versuchung noch weiter über Astrophysik zu sprechen widerstehen, nur eins kann ich nicht unerwähnt lassen. Schon Römer und Doppler hatten darauf aufmerksam gemacht, daß gleichwie die Tonhöhe durch Entfernung der Schallquelle vom Beobachter vertieft, durch Annäherung an diesen erhöht wird, auch die Farbe eines Sternes dem rot oder violett genähert werden muß, wenn sich dieser von uns weg oder gegen uns bewegt, — sie glaubten dadurch die Erscheinung der farbigen Sterne erklären zu können; sie bedachten nicht, daß bei der Farbenunempfindlichkeit des freien Auges selbst die enormste Geschwindigkeit keine wahrnehmbare Farbenänderung erzeugen könnte, — liegt die durch die kosmischen Geschwindigkeiten

erzeugte Farbenänderung doch selbst an der Grenze des spektral wahrnehmbaren; doch gelang es namentlich Zöllner und Vogel durch sehr feine Apparate eine ganz kleine Verschiebung in gewissen Sternen nachzuweisen. Diese nähern sich uns also oder fliehen uns, je nach dem Sinne der Verschiebung. In den Wirbelstürmen der Sonnenatmosphäre bewegt sich der Rand des Sturmgebietes wenig, und in der Mitte desselben wechselt die Richtung der Bewegung, daher der Sinn der Verschiebung der Spektrallinien. Diese zeigen also an solchen Stellen eine S-förmige Krümmung, welche man durch künstliche Verjüngung der Spektrallinien tatsächlich beobachten kann, wie man an einem Stabe kleine Krümmungen leicht erkennt, wenn man in seiner Richtung blickt. Bei anderen Sonnenorkanen bewegen sich unregelmäßig gewisse Partien schneller, andere langsamer, bald dahin, bald dorthin, daher werden auch die verschiedenen Punkte der Spektrallinien bald stärker, bald schwächer, dahin und dorthin verschoben, täuschend als ob die feinen Linien im Spektralapparate durch die Stürme, die auf der Sonne blasen, zerzaust würden.

Den kosmischen Geschwindigkeiten vergleichbar ist die Geschwindigkeit der Wärmebewegung der Moleküle bei hohen Temperaturen. Sie ist daher ähnlich im Spektralapparate beobachtbar, wie zuerst Lippich zeigte. Nur die Lösung der nächstliegenden Aufgabe, aus der Beschaffenheit der Spektra selbst Aufschlüsse über die Natur der schwingenden Moleküle zu erhalten, wollte nicht recht glücken; doch ist auch hier der Anfang bereits durch die Entdeckung höchst wunderbarer Periodizitäts-Gesetze der Spektrallinien gemacht, und Weiteres wird sicher der Geschichtsschreiber der Zukunft zu erzählen wissen. Des dem Telespektroskope gegenüberstehenden Mikrospektroskopes, der Anwendung des Spektralapparates in der Zuckerindustrie, beim Bessemerprozeß, zur Erkennung der Weinverfälschung, zur Auffindung photographischer Sensibilatoren und zur Unterscheidung der Farbstoffe; in der Medizin zur Analyse des Blutes bei Leukämie und Kohelnoxydvergiftung gedenke ich nur im Vorübergehen.

Fast niemals im Verlaufe der Geschichte, am wenigsten heutzutage, wo so Viele wissenschaftlich forschen, ereignete

es sich, daß derselbe Kopf, welcher eine Idee zum ersten Male faßte, sie auch zur Vollendung brachte. Fast alle Ideen sind schon vorher geahnt, vorbereitet, und da und dort dunkel angedeutet worden, bis der Mann kam, der dem zerstreuten Materiale Form und Gestalt gab. Diesen werden wir immer als den Erfinder bezeichnen, ohne natürlich hierdurch das Verdienst seiner Vorgänger schmälern zu wollen; — so werden wir Gutenberg den Erfinder der Buchdruckerkunst, Watt den der Dampfmaschine, Mayer den Entdecker des Arbeits-Äquivalents der Wärme, Darwin den der Transmutationstheorie nennen, Graham Bell werden wir die Erfindung des Telephons und Edison die der Glühlichtlampe nicht streitig machen können, ohne zu leugnen, daß jeder dieser Männer seine Vor- und Mitarbeiter hatte. — Je größer die Erfindung, desto leichter führt dann dieser Umstand zu Prioritätsstreitigkeiten, und an solchen hat es auch in der Geschichte der Spektralanalyse nicht gefehlt.

Schon um jeden Schein von Parteilichkeit zu vermeiden, muß ich mich daher noch etwas ausführlicher über deren Entdeckungsgeschichte verbreiten. Wir sahen, daß das Spektrum schon seit Newtons Zeit die Aufmerksamkeit der Physiker auf sich zog, und diese wuchs seit der Darstellung seiner dunklen Linien. So hatte Brewster bemerkt, daß bei tiefem Sonnenstande zu diesen Linien noch neue, durch die atmosphärische Luft erzeugte hinzukommen. Brewster hat auch schon Flammenspektra beobachtet und Miller 1845 sogar solche gezeichnet; da er aber eine Alkoholflamme verwendete, welche selbst ziemlich stark leuchtete, dagegen die darin enthaltenen Salze nur schwach erhitzte, so gelangen die Zeichnungen so wenig, daß die charakteristischen Linien der Salze darin gar nicht erkennbar sind. — Swan hatte besonders die Kohlenstofflinien eingehend beobachtet und dabei auch der gelben Natriumlinie Aufmerksamkeit geschenkt, deren Entstehung durch Natrium er vermutete. Diese war auch anderweitig vielfach beobachtet und ihr Zusammenhang mit der D-Linie bemerkt worden. Brewster bemerkte auch den Zusammenhang einiger anderer heller Linien mit Fraunhoferschen Linien.

Wheatston, Masson, Angström, Van der Willigen, Desprez und Plücker untersuchten das Spektrum

elektrischer Entladungen und fanden es von der Natur sowohl der Elektroden, als auch der umgebenden Gase abhängig.

Foucault machte sogar schon zehn Jahre vor Kirchhoff einen Umkehrungsversuch, indem er das Licht der elektrisch glühenden Kohlen durch den Flammenbogen zurückreflektierte, wobei an Stelle der hellen Natriumlinie eine dunkle zum Vorschein kam, aber niemand erklärte — ja niemand beachtete dies weiter. Herschel und Talbot sprachen schon die Idee aus, daß das Spektrum zu einem Schlusse über die Natur der in einer Flamme enthaltenen Substanzen verwendet werden könnte, aber wie weit waren sie von einer konsequenten Durchführung dieser hingeworfenen Idee entfernt, da sie sogar die Natriumlinie manchmal brennendem Schwefel, ja sogar dem verdampfenden Kristallwasser zuschrieben und glaubten, Chlorkalzium könne ohne Gewichtsabnahme Spektrallinien geben. — Von einer anderen Seite kam Balfour Stewart der Entdeckung Kirchhoffs nahe, indem er den Satz, daß ein Körper immer dieselben Strahlen absorbiert, die er aussendet, durch viele Experimente mit strahlender Wärme und Licht bestätigte. Allein er machte wieder keine direkte Anwendung desselben auf die Spektralanalyse. Dieser Satz wurde auch von Angström, wenngleich unbestimmt und hypotetisch, behauptet, und soll schon lange von Stokes und Thomson in ihren Vorlesungen gelehrt und auch daraus der Schluß auf die Anwesenheit von Natrium in der Sonne gezogen worden sein, offenbar ohne Kenntnis der universellen Bedeutung hiervon, jedenfalls ohne irgend eine weitere Anwendung.

Sicher werden wir die großen Verdienste aller dieser Vorläufer Kirchhoffs nicht in Abrede stellen (habe ich ja doch einen guten Teil der bedeutendsten Physiker von vier Nationen genannt), aber ebenso sicher wird dadurch unsere Bewunderung Kirchhoffs nicht geschmälert werden, ja sie wird noch gesteigert, wenn wir sehen, wie so viele der größten Denker unseres Jahrhunderts sich jahrelang mit dem Spektrum beschäftigten, der Entdeckung Kirchhoffs schon so nahe waren und sie nicht machten. Wie beim „Blinde-Kuhspiele" hatte bald dieser, bald jener schon einen Zipfel davon erfaßt und ließ sie immer wieder entschlüpfen, bis

endlich der kam, dem die Augen nicht verbunden waren, und der in wenigen Monaten alle diese Gedankensplitter zum einheitlichen Ganzen ordnete, den Umkehrungsatz theoretisch und experimentell unwiderleglich begründete, durch Nachweis der Konstanz und Superposition der Spektra der Analyse durch das Spektrum eine feste Basis schuf, zahllose charakteristische Spektra von Elementen fixierte, die Koinzidenz zahlloser Fraunhoferscher Linien nachwies und Darstellung und Messung der Spektra zu solcher Meisterschaft brachte, daß sofort die Entdeckungen der Physik, Chemie und Astronomie folgten. — In nahezu drolliger Weise macht Tait in seinem Buche über die neuesten Fortschritte der Physik seinem Ärger Luft, daß die Entdeckung keinem der Engländer gelang, die ihr so nahe waren. Er zeiht seine Landsleute der Indolenz; darin, daß diese infolge mangelhafter Kenntnis der Literatur, welche Kirchhoff geläufiger war, die Sache für schon allgemein bekannt gehalten hätten, erblickt er die Wurzel des Übels und schlägt vor, demselben durch regelmäßige Literaturberichte für die Zukunft abzuhelfen. Solche regelmäßige Literaturübersichten, zu deren eifrigen Lesern ich gehöre, werden seither in der Tat von der britischen Gesellschaft geliefert, ich weiß nicht, ob infolge der erwähnten Bemerkung Taits; wäre dies aber der Fall, so glaube ich, daß da eine treffliche Einrichtung einem großen Irrtume entsprungen ist. Die Ursache, warum Kirchhoff die Spektralanalyse entdeckte — Herr Tait möge mir meinen Widerspruch verzeihen — die war, glaube ich, doch Kirchhoffs Genius, und wenn diesen noch ein glücklicher Zufall unterstützte, so war es allein die Anregung und tatkräftige Unterstützung durch Bunsen.

Ist die Spektralanalyse auch die glänzendste Entdeckung Kirchhoffs, so würde man doch sehr irren, wenn man sie für dessen einzige Geistestat hielte. Kirchhoff wäre durch seine anderen Arbeiten ebenso einer der größten Gelehrten aller Zeiten, selbst wenn er nie ein Prisma zur Hand genommen hätte. Schon seine ersten Arbeiten über die Strömung der Elektrizität in Platten, über die Stromverzweigung und den elektrostatischen Beweis des Ohmschen Gesetzes

waren epochemachend. Dieses Gesetz, das man damals erst zu beachten anfing, wurde dadurch bedeutend verallgemeinert und erweitert. Die bezüglichen Kirchhoffschen Sätze sind noch heute in ununterbrochener Anwendung in Wissenschaft und Technik. Diese Arbeiten waren theoretisch und experimentell zugleich, ein Vorbild des gesamten wissenschaftlichen Charakters Kirchhoffs; dann lieferte er eine große theoretische und experimentelle Untersuchung der Elastizitätsverhältnisse von Stahl und Messing, durch welche der lange Streit zwischen Cagniard Latour und Wertheim seine endgültige Entscheidung fand; hierauf nahmen die Spektral- und Sonnenbeobachtungen alles in Anspruch. Doch kein sterbliches Auge verträgt zu lange deren Glanz. Wie der Sonnenfleckenbeobachter Galilei und der Astrophysiker Janssen, fühlte auch Kirchhoff bald die Schwächung seiner Sehkraft; dieser Umstand und ein hartnäckiges Fußleiden, welches ihn zwang, durch lange Zeit seinen Hörsaal auf Krücken oder gar im Rollstuhle zu besuchen, verleideten ihm die experimentelle Tätigkeit. Desto unermüdlicher arbeitete er auf mathematisch-physikalischem Gebiete. Sind diese seine Arbeiten auch dem Publikum weniger verständlich —, gewiß, sie sind nicht minder groß. Gestatten Sie mir bei ihrer Beschreibung nochmals etwas weiter auszuholen.

Sucht die Experimentalphysik neue Erscheinungen zu finden, so geht das Bestreben der theoretischen dahin, die gegebenen Erscheinungen qualitativ und quantitativ in ihrem ganzen Verlaufe zu erfassen. Die einfachsten können durch gewöhnliche Zahlen gemessen werden; größere Allgemeinheit erzielt die Algebra, aber ein wahres Erfassen des kontinuierlichen Verlaufes von Naturerscheinungen wird erst durch die Mathematik des Kontinuums, die Infinitesimalrechnung möglich. — Da gelang es nun nicht etwa zuerst von dem Unbedeutendsten, wie von den Geheimnissen des Wachstums eines Grashalmes oder der Gestaltveränderungen einer im Wasser aufsteigenden Luftblase den Schleier zu lüften, nein! Zuerst gelang die Auffassung der Bewegung der Himmelskörper im Weltenraume so genau, daß wir sie durch mathematische Formeln treu wiederspiegeln und für alle Zukunft vorausberechnen können. Mühsam stieg dann die theo-

retische Physik vom Himmel auf die Erde herab. Die Dimensionen der Himmelskörper, wenn auch noch so kolossal, sind doch verschwindend im Vergleich mit ihren gegenseitigen Distanzen, man kann sie daher als einzelne Massenpunkte betrachten, die sich im unendlichen Raume bewegen; die komplizierten irdischen Erscheinungen suchte man nun in zweifacher Weise mathematisch zu erfassen; erstens, man sah die irdischen Körper auch als Aggregate von Massenpunkten, den Molekülen, an, auf die man mit gewissen Modifikationen die Bewegungsgesetze der Himmelskörper übertrug, nur, daß man da in einem Wassertropfen schon ungezählte Millionen annehmen mußte; zweitens, man suchte neue mathematische Begriffe zu bilden, welche die Körper, wie sie sich dem Auge darbieten, als kontinuierlich mit Masse erfüllt darstellen. — Die erstere Anschauung dringt tiefer in das Wesen der Dinge ein, die zweite ist freier von unbeweisbaren Hypothesen. — Beide Anschauungen ringen noch heute miteinander; die erste wurde hauptsächlich von den französischen Geometern Navier, Poisson, Laplace, Cauchy, Fourier inauguriert und fand durch Weber ihre Vollendung, die letztere hatte ihren ersten Vorkämpfer in Euler. Die Blüte der französischen Mathematik um die Zeit der großen Revolution verschaffte anfangs der ersten Methode allgemeines Übergewicht; sie verlor aber wieder an Kredit durch das Fiasko, welches ein von Poisson durch Rechnung gewonnener Satz der Elastizitätslehre machte. — Schon Wertheim bekämpfte diesen Satz und mit ihm die Poissonsche Theorie erfolgreich, — seine definitive Widerlegung fand er freilich erst später durch Kirchhoff. Selbst Franzosen wie Lamé wandten sich wieder der zweiten Methode zu, und diese wurde in Deutschland hauptsächlich durch Neumann und dessen Schüler Kirchhoff ausgebildet. — Nicht kühne Hypothesen über das Wesen der Materie zu bilden und aus der Bewegung der Moleküle die Bewegung der Körper zu erraten, ist das Ziel, sondern Gleichungen zu bilden, welche frei von Hypothesen möglichst getreu und quantitativ richtig der Erscheinungswelt entsprechen, unbekümmert um das Wesen der Dinge und Kräfte. — Ja, in seinem Buche über Mechanik will Kirchhoff sogar alle metaphysischen Begriffe, wie den der Kraft, als Ursache einer Bewegung, verbannen,

er sucht bloß die Gleichungen, welche den beobachteten Bewegungen möglichst genau entsprechen. Das Staunen über diese neue Behandlungsweise der Mechanik war anfangs allgemein, doch wich es bald der zwingenden Kraft seiner Logik. Auch die Theorie der Magnetisierung war früher auf Hypothesen über die Beschaffenheit der magnetischen Moleküle gebaut worden. Kirchhoff sucht ohne Hypothese über das Wesen des Magnetismus bloß aus den einfachsten Voraussetzungen über dessen Wirksamkeit jene Gleichungen zu gewinnen, welche alle magnetischen Erscheinungen voraus zu berechnen erlauben, und ähnliches gilt von seinen Arbeiten über Elektrizität, Wärmelehre usw.

Wie viele, die ihr Auge am Spiele der Wellen eines Bächleins ergötzen, denken an die Schwierigkeit, die es bietet, Gleichungen aufzustellen, aus denen jede Form jedes Wellenkammes genau berechnet werden kann. Da ist es also zunächst notwendig die einfachsten Formen der Naturerscheinungen, aus denen wir am meisten lernen können, in Gleichungen zu fassen, und aus ihnen dann die kompliziertered zusammenzusetzen. Mit unglaublichem Scharfblick gelang Kirchhoff die Auffindung einer Fülle von Fällen, in denen die Berechnung gelingt, und die sich zudem besonders als Bausteine zu weiterer Arbeit eignen. Seine Berechnung der elektrischen Schwingungen in Drähten, seine Verallgemeinerung der Wheatstonschen Drahtkombination dienen zahlreichen Experimentaluntersuchungen als Grundlage, — schon lange, ehe Pacinotti und Gramme ihren lichterzeugenden Eisenring schmiedeten, berechnete er die Magnetisierung eines unendlich langen Eisenzylinders. — Dieses Problem ist der unmittelbare Vorläufer der Berechnung der Magnetisierung eines Ringes, da für den Mathematiker die beiden Enden eines unendlich langen Zylinders sich berühren. — „Ultima se tangunt“. Ja, nach den Untersuchungen Karl Neumanns über Ring-Potentiale ist die Ableitung des letzteren Problemes aus dem ersteren nur mehr eine Frage der Zeit, oder vielmehr ist es nur die Frage, wann ein Mathemathiker sich dazu einmal die Zeit nimmt. Spezielle Fälle dieses Problems hat schon Kirchhoff berechnet, welche vielen seiner Schüler zur Bestimmung von Magnetisierungskonstanten dienten. — Statische Elektrizität kann nur gut durch

Ladung zweier paralleler Platten, eines sogenannten Kondensators beobachtet werden; — die Theorie eines solchen wurde zuerst von Clausius gegeben, doch setzte dieser die Platten als unendlich dünn voraus, so daß deren Anwendung auf einen gewöhnlichen Kondensator nur zu beiläufigen Resultaten führen konnte. Kirchhoff lehrte, wie deren Dicke zu berücksichtigen ist, und machte damit den Kondensator zu einem der wichtigsten Meßapparate statischer Elektrizität. Kirchhoffs Arbeiten über die Elektrostriktion, Verteilung der Elektrizität auf Kugeln, über Wirbelringe, über Dampfspannungen und Wärmeleitung in parallelepipedischen Körpern, über Schallfortpflanzung in engen Röhren, über das Huyghenssche Prinzip, über Reflexion und Brechung des Lichtes kann ich nur mehr dem Namen nach erwähnen.

Traf in allen diesen Fällen die Analyse Kirchhoffs gerade die brennendsten Fragen der Physik, so sind andere Arbeiten Kirchhoffs, wie man zu sagen pflegt, wieder bloß von mathematischem Interesse, das heißt, ihre Wichtigkeit liegt nicht in dem Resultate, sondern in der Vervollkommnung der mathematischen Methode. — Derjenige, dem solche Leistungen unwichtig erscheinen, gleicht jenem griechischen Philosophen, der die Untersuchungen Archimedes über die Eigenschaften der Ellipse als Spielereien erklärte, da diese außer ihrer gefälligen Form doch gar keine Wichtigkeit habe.

Wie kurzsichtig ist diese Beschränkung auf das momentan nützliche, und wie richtig hatte Archimedes das universell Bedeutende erfaßt! Seine Forschung wurde die Grundlage aller späteren astronomischen Entdeckungen, welche heutzutage Tausende von Schiffen im Meere vor sicherem Untergange bewahren. Wer die Schwierigkeiten kennt, die mathematischen Formeln zu finden, welche die Naturerscheinungen genau zu beschreiben und voraus zu berechnen erlauben, der begreift, daß dieses Ziel nur durch schrittweises Vordringen erreicht werden kann, und schätzt den Vorteil jeder Vervollkommnung der mathematischen Methode, wenn er auch zugibt, daß Dirichlet die Größe einer Entdeckung zu ausschließlich nach dem dabei aufgewandten mathematischen Scharfsinne taxierte, welcher die Berechnung der Klassenzahl aller quadratischen Formen als die größte Entdeckung unseres Jahrhunderts gepriesen haben soll.

Gerade unter den zuletzt erwähnten Abhandlungen Kirchhoffs sind einige von ungewöhnlicher Schönheit. Schönheit, höre ich Sie da fragen; entfliehen nicht die Grazien, wo Integrale ihre Hälse recken, kann etwas schön sein, wo dem Autor auch zur kleinsten äußeren Ausschmückung die Zeit fehlt? — Doch —; gerade durch diese Einfachheit, durch diese Unentbehrlichkeit jedes Wortes, jedes Buchstaben, jedes Strichelchens kommt der Mathematiker unter allen Künstlern dem Weltenschöpfer am nächsten; sie begründet eine Erhabenheit, die in keiner Kunst ein Gleiches, — Ähnliches höchstens in der symphonischen Musik hat. Erkannten doch schon die Pythagoräer die Ähnlichkeit der subjektivsten und der objektivsten der Künste. — Ultima se tangunt. Und wie ausdrucksfähig, wie fein charakterisierend ist dabei die Mathematik. Wie der Musiker bei den ersten Takten Mozart, Beethoven, Schubert erkennt, so würde der Mathematiker nach wenigen Seiten, seinen Cauchy, Gauß, Jacobi, Helmholtz unterscheiden. Höchste äußere Eleganz, mitunter etwas schwaches Knochengerüste der Schlüsse charakterisiert die Franzosen, die größte dramatische Wucht die Engländer, vor allen Maxwell. Wer kennt nicht seine dynamische Gastheorie? — Zuerst entwickeln sich majestätisch die Variationen der Geschwindigkeiten, dann setzen von der einen Seite die Zustandsgleichungen, von der anderen die Gleichungen der Zentralbewegung ein, immer höher wogt das Chaos der Formeln; plötzlich ertönen die vier Worte: „Put $n=5$." Der böse Dämon V verschwindet, wie in der Musik eine wilde, bisher alles unterwühlende Figur der Bässe plötzlich verstummt; wie mit einem Zauberschlage ordnet sich, was früher unbezwingbar schien. Da ist keine Zeit, zu sagen, warum diese oder jene Substitution gemacht wird; wer das nicht fühlt, lege das Buch weg; Maxwell ist kein Programmmusiker, der über die Noten deren Erklärung setzen muß. Gefügig speien nun die Formeln Resultat auf Resultat aus, bis überraschend als Schlußeffekt noch das Wärmegleichgewicht eines schweren Gases gewonnen wird und der Vorhang sinkt.

Ich erinnere mich noch, wie Kirchhoff mir im Gespräche über diese Abhandlung die Bemerkung machte: „so muß man über Gastheorie schreiben." — Kirchhoff selbst schrieb

nie über Gastheorie;[1]) seine ganze Richtung war eine andere, und ebenso auch deren treues Abbild, die Form seiner Darstellung, welche wir neben der Eulers, Gauß, Neumanns usw. wohl als Prototyp der deutschen Behandlungsweise mathematisch-physikalischer Probleme hinzustellen berechtigt sind. Ihn charakterisiert die schärfste Präzisierung der Hypothesen, feine Durchfeilung, ruhige, mehr epische Fortentwicklung mit eiserner Konsequenz ohne Verschweigung irgend einer Schwierigkeit, unter Aufhellung des leisesten Schattens. Um nochmals zu meiner Allegorie zurückzugreifen, er glich dem Denker in Tönen: Beethoven. — Wer in Zweifel zieht, daß mathematische Werke künstlerisch schön sein können, der lese seine Abhandlung über Absorption und Emission oder den der Hydrodynamik gewidmeten Abschnitt seiner Mechanik.

Verzeihen Sie, wenn ich besonders im letzten Teile unverständlich oder unanschaulich wurde, gewiß, ich möchte lieber an der Hörsaaltafel den Ideengang einer Kirchhoffschen Abhandlung entwickeln, anstatt über sie zu schwatzen, wie ein Kapellmeister lieber eine Symphonie Beethovens aufführt, als alle neun in Worten schildert.

Nun habe Dank geliebter Schatten für deine Führung. — Wie leicht wandelt es sich an deiner sanften Hand auf den steilen Pfaden der Wissenschaft. Kehre zurück, wo du mit so vielen großen Geistern weilst, der größten einer. — Fürwahr, die späteste Nachwelt wird den großen Männern, die unser Jahrhundert zeugte, die Bewunderung nicht versagen. Wenn etwas ihr gleichen könnte, so wäre es höchstens die Verwunderung, daß dasselbe Jahrhundert so viel lächerliches Zopftum, so viel überkommenen Unsinn und törichten Aberglauben nicht los werden konnte. — Erlauben Sie mir, daß ich Sie da an ein Sonett erinnere, das von einem Dichter stammt, der auch Naturforscher war, und dessen altmodische Derbheit in unserer Zeit der Glacéhandschuhe freilich etwas wunderlich klingt. Es lautet:

[1]) Dagegen findet sich in seinen später erschienenen gedruckten Vorlesungen ein meisterhafter Abschnitt über Gastheorie.

Die Wahrheit, sie besteht in Ewigkeit,
Wenn erst die blöde Welt ihr Licht erkannt,
Der Lehrsatz nach Pythagoras benannt
Gilt heute, wie er galt zu seiner Zeit.

Ein Opfer hat Pythagoras geweiht
Den Göttern, die den Lichtstrahl ihm gesandt;
Es taten kund, geschlachtet und verbrannt,
Einhundert Ochsen seine Dankbarkeit.

Die Ochsen seit dem Tage, wenn sie wittern,
Daß eine neue Wahrheit sich enthülle,
Erheben ein unmenschliches Gebrülle.

Pythagoras erfüllt sie mit Entsetzen,
Und machtlos sich dem Licht zu widersetzen
Verschließen sie die Augen und erzittern.

Fast scheint es, als ob dieses Gedichtchen gerade so ewig wahr bleiben sollte, wie der pythagoräische Lehrsatz, den es besingt.

Tönt es nicht heute lauter denn je, das Gebrülle aller Dunkelmänner, aller Feinde der freien Meinungsäußerung und Forschung wider den neuen pythagoräischen Lehrsatz, die Lehre Darwins?

Aber wohl uns; es ist der Sturm, der das Nahen des Frühlings verkündet. — Doch bis dahin kommt der leichtfertige Spott zu früh, bis dahin rüstet den bittern blutigen Kampf, der zwar nicht mit Pulver und Blei ausgefochten wird, aber doch Tausende dahinraffte, Tausende der Edelsten. — Wer zählt die Gräber, auf die alle die Grabschrift gesetzt werden könnte, die Schiller für Rousseaus Grab dichtete? Wann wird doch die alte Wunde narben?

In diesem Kampfe der Geister nicht die letzte zu sein, das sei deine Aufgabe Alma Mater Graecensis im vierten Jahrhunderte deines Lebens, und sollte dieses den Mauern unserer Stadt wieder einen Kepler bringen, so sei nicht seine Gegnerin, sondern er sei dein!

5.

Über die Bedeutung von Theorien.[1]

Hochansehnliche Versammlung!

Als ich vor einigen Tagen erfuhr, daß die heutige Feier geplant werde, war es anfangs meine feste Absicht, Sie zu bitten, davon abzustehen. Denn, fragte ich mich, wie kann ein einzelner solche Ehrung verdienen? Wir sind doch alle nur Mitarbeiter an einem großen Werke, und jedem, der an seinem Posten seine Pflicht tut, gebührt gleiches Lob. Wenn daher ein einzelner aus der Allgemeinheit hervorgehoben wird, so kann dies nach meiner Auffassung niemals seiner Persönlichkeit gelten, sondern nur der Idee, die er vertritt; nur dadurch, daß der einzelne sich ganz einer Idee hingibt, kann er erhöhte Bedeutung gewinnen.

Ich entschloß mich daher erst, von meiner Bitte abzustehen, als ich alle Auszeichnungen nicht auf meine bescheidenen persönlichen Verdienste bezog, sondern auf die Idee, welche mein Sinnen und Wirken erfüllt, den Ausbau der Theorie. Ihr zum Preise ist mir kein Opfer zu groß, sie, die den Inhalt meines ganzen Lebens ausmacht, sei auch der Inhalt meiner heutigen Dankesworte.

Ich wäre kein echter Theoretiker, wenn ich nicht zuerst fragen würde: Was ist die Theorie? Dem Laien fällt daran zunächst auf, daß sie schwer verständlich, mit einem Wust von Formeln umgeben ist, die für den Uneingeweihten keine Sprache haben. Allein diese sind nicht ihr Wesen, der wahre Theoretiker spart damit soviel er kann; was sich in Worten sagen läßt, drückt er mit Worten aus, während ge-

1) Erwiderung auf die Abschiedsworte von A. Tewes und H. Streintz bei der Berufung nach München, am 16. Juli 1890 in Graz gesprochen.

rade in den Büchern der Praktiker Formeln zum bloßen Schmucke nur allzu häufig figurieren.

Ein Freund von mir definierte den Praktiker als denjenigen, der von der Theorie nichts versteht, den Theoretiker als einen Schwärmer, der überhaupt gar nichts versteht. Auch der hierin zugespitzten Ansicht wollen wir entgegentreten.

Ich bin der Meinung, daß die Aufgabe der Theorie in der Konstruktion eines rein in uns existierenden Abbildes der Außenwelt besteht, das uns in allen unseren Gedanken und Experimenten als Leitstern zu dienen hat, also gewissermaßen in der Vollendung des Denkprozesses, der Ausführung dessen im großen, was sich bei Bildung jeder Vorstellung im kleinen in uns vollzieht.

Es ist ein eigentümlicher Trieb des menschlichen Geistes, sich ein solches Abbild zu schaffen und es der Außenwelt immer mehr und mehr anzupassen. Wenn daher auch oft zur Darstellung eines kompliziert gewordenen Teiles des Abbildes verwickelte Formeln notwendig sind, so bleiben letztere doch immer nur unwesentliche, wenn auch höchst brauchbare Ausdrucksformen, und in unserem Sinne sind Kolumbus, Robert Mayer, Faraday echte Theoretiker. Denn nicht die Suche nach dem praktischen Nutzen, sondern das Abbild der Natur in ihrem Geiste war ihr Leitstern.

Der erste Ausbau, die stete Vervollkommnung dieses Abbildes ist nun die Hauptaufgabe der Theorie. Die Phantasie ist immer ihre Wiege, der beobachtende Verstand ihr Erzieher. Wie kindlich waren die ersten Theorien des Universums von Pythagoras und Plato bis auf Hegel und Schelling. Die Phantasie war damals überproduktiv, die Selbstprüfung durch das Experiment fehlte. Kein Wunder, daß diese Theorien zum Gespötte der Empiriker und Praktiker wurden, und doch enthielten sie bereits die Keime aller späteren großen Theorien: der des Kopernikus, der Atomistik, der mechanischen Theorie der Imponderabilien, des Darwinismus usw.

Trotz alles Spottes war der Trieb, uns eine theoretische Anschauung der Außendinge zu bilden, in der Menschenbrust unbezwingbar und entsproßten ihm stets neue Blüten. Wie Kolumbus seine Fahrzeuge immer, immer nach West, so steuerte dieser Trieb uns unverwandt jenem großen Ziele zu.

Als dann noch der nüchterne, experimentelle Verstand und die zur Handhabung der vielen erfundenen Apparate und Maschinen nötige Handfertigkeit immer mehr in ihre gebührenden Rechte traten, wurden die alten bunten Gebilde der Phantasie gesichtet und ausgefeilt, sie gewannen überraschend schnell an Naturtreue und Bedeutung, und heute kann man sagen, daß die Theorie die Welt erobert hat.

Wer sieht nicht mit Bewunderung, wie sich die ewigen Gestirne sklavisch den Gesetzen beugen, die ihnen der Menschengeist zwar nicht gegeben, aber doch abgelauscht hat? Und je abstrakter, desto mächtiger wird die theoretische Forschung. Wenn wir dem Pfade noch nicht ganz trauend, auf welchem wir mehr von den Formeln geleitet, als sie leitend zu einem Theoreme der Arithmetik gelangt sind, dieses an Zahlenbeispielen prüfen, so beschleicht uns noch mehr dieses Gefühl, daß sich die Zahlen willenlos unseren Formeln beugen müssen, auch nicht eine ausgenommen.

Doch auch wer in der Theorie nur die zu melkende Kuh schätzt, kann ihre Macht nicht mehr bezweifeln. Sind nicht bereits alle Disziplinen der Praxis von der Theorie durchdrungen, folgen sie nicht schon alle ihrem sicheren Leitsterne? Die Formen Keplers und Laplace weisen nicht nur den Sternen ihre Bahnen am Himmel, sie zeigen vereint mit den erdmagnetischen Rechnungen von Gauß und Thomson auch den Schiffen ihren Weg auf dem Ozean. Der Riesenbau der Brooklyner Brücke, welche sich unabsehbar in die Länge, und der des Eiffelturms, der sich endlos in die Höhe erstreckt, sie beruhen nicht bloß auf dem festen Gefüge des Schmiedeeisens, sondern auf dem festeren der Elastizitätstheorie. Theoretische Chemiker sind durch praktische Anwendung ihrer Synthesen zu reichen Männern geworden. Und erst der Elektrotechniker! Bringt er nicht schon der Theorie seine stete Huldigung dar, indem ihm nebst Mark und Pfennig die Namen Ohm, Ampère usw. die geläufigsten sind, die Namen lauter großer Theoretiker, von denen freilich keinem das glückliche Los der vorerwähnten Chemiker zufiel; denn ihre Formeln trugen erst nach ihrem Tode Früchte für die Praxis. Ja, vielleicht ist die Zeit nicht mehr ferne, in der jede Haushaltungsrechnung jene großen Elektriker verherrlichen wird, und im künftigen Jahrhundert weiß

vielleicht jede Köchin mit wie viel „Volt-Ampère“ das Fleisch zu braten ist, und wieviel „Ohm“ ihre Lampe hat.

Gerade der praktische Techniker behandelt die verwickelten Formeln der Elektrizitätslehre in der Regel mit größerer Sicherheit, als so mancher angehende Gelehrte, da er jeden Irrtum nicht bloß mit einer Rüge seines Lehrers, sondern mit barem Gelde büßen muß. Sogar fast jeder Bautischler, jeder Kunstschlosser weiß heutzutage schon, wie sehr durch Kenntnis der darstellenden Geometrie, Maschinenlehre usw. seine Konkurrenzfähigkeit wächst. Gedenken muß ich noch des herrlichen Gebietes der medizinischen Wissenschaften, wo auch die Theorie allmählich zur Geltung zu kommen scheint.

Fast wäre man versucht, zu behaupten, daß, ganz abgesehen von ihrer geistigen Mission, die Theorie auch noch das denkbar praktischste, gewissermaßen die Quintessenz der Praxis sei, da die Präzision ihrer Schlüsse durch keine Routine im Schätzen oder Probieren zu erreichen ist, freilich bei der Verborgenheit ihrer Wege nur für den, der diese ganz sicher wandelt. Ein einziger Zeichenfehler kann das Resultat vertausendfachen, während der Empiriker nie so weit irrt; es werden daher die Fälle wohl auch nie ganz aussterben, wo der in seine Ideen versunkene, immer aufs allgemeine blickende Denker von dem geschickten, auf sich selbst bedachten Praktiker übertrumpft wird, wie Archimedes, der dem stürmenden Römer zum Opfer fiel, wie ein anderer griechischer Philosoph, der, als er nach den Sternen sah, über einen Stein stolperte. Verstumme, du landläufige, allem abstrakteren Streben entgegengeschleuderte Frage, wozu es eigentlich nütze? Wozu nützt, möchte man entgegenfragen, die bloße Förderung des Lebens durch Gewinnung praktischer Vorteile auf Kosten dessen, was allein Leben dem Leben gibt, was es allein lebenswert macht, der Pflege des Idealen?

Doch ist die Theorie von jeder Selbstüberschätzung ferne; in ihrem Wesen begründet sind auch ihre Mängel und sie selbst ist es, die ihre Fehler aufdeckt, wie schon Sokrates das Hauptgewicht auf die Erkenntnis der Lücken seines eigenen Wissens legte. Alle unsere Vorstellungen sind rein subjektiv. Daß sogar unsere Ansicht über Sein und Nichtsein subjektiv ist, beweist der Buddhismus, welcher das Nichts

als das eigentlich Seiende verehrt. Ich nannte die Theorie ein rein geistiges inneres Abbild, und wir sahen, welch hoher Vollendung dasselbe fähig ist. Wie sollte es da nicht kommen, daß man bei fortdauernder Vertiefung in die Theorie das Bild für das eigentlich Existierende hielte? In diesem Sinne soll schon Hegel bedauert haben, daß die Natur sein philosophisches System in dessen ganzer Vollkommenheit nicht zu verwirklichen vermöge.

So kann es dem Mathematiker geschehen, daß er, fortwährend beschäftigt mit seinen Formeln und geblendet durch ihre innere Vollkommenheit, die Wechselbeziehungen derselben zu einander für das eigentlich Existierende nimmt und von der realen Welt sich abwendet. Was der Dichter klagt, das gilt dann auch von ihm, daß seine Werke mit seinem Herzblute geschrieben sind und die höchste Weisheit an den größten Wahn grenzt. In diesem Sinne deute ich auch den, wenn man von Theorie spricht, nicht zu umgehenden Ausspruch Goethes, der ja selbst durch und durch Theoretiker nach unserer Auffassung war, freilich jene Verirrung vermeidend. Übrigens legt Goethe den Ausspruch dem Teufel in den Mund, der später höhnisch sagt: „Verachte nur etc."

Habe ich mich eingangs als Vertreter der Theorie hingestellt, so will ich auch nicht leugnen, daß ich diese üblen Folgen ihres Bannes an mir selbst erfuhr. Was aber wäre wirksamer gegen diesen Bann, was könnte mächtiger in die Realität zurückziehen, als der lebendige Kontakt mit einer so hochansehnlichen Versammlung wie diese? Für diese Wohltat, die Sie mir erwiesen, sage ich Ihnen allen meinen Dank: zuvörderst Ihnen, Herr Rektor magnificus, der Sie dieses Fest veranstalteten, dann dem Herrn Festredner, allen Kollegen und Gästen, welche seinem Rufe gefolgt sind, und endlich den wackeren Söhnen unserer Alma mater, deren Feuereifer und edle Begeisterung durch 18 Jahre meine Stütze waren. Möge die Grazer Universität wachsen und blühen, möge sie das sein und immerdar bleiben, was in meinen Augen das höchste ist: „Ein Hort der Theorie."

6.

Über Luftschiffahrt.[1])

Bei Gelegenheit der Publikation seines berühmten Satzes über Kreisteilung schildert Gauß nicht ohne Stolz, wie sich an diesem Probleme wohl schon Hunderte von Mathematikern seit den Zeiten der Griechen vergeblich versucht hätten, bis es schließlich wohl für unlösbar gehalten wurde. Gleiches gilt in noch höherem Maße vom Probleme des lenkbaren Luftschiffes. Unter einem solchen verstehe ich jede Vorrichtung, mittelst welcher ein oder mehrere Menschen imstande sind, sich in willkürlicher Richtung eine längere Strecke hindurch frei durch die Luft zu bewegen.

Die Anzahl der verfehlten Projekte auf diesem Gebiete ist Legion. Aber es haben sich, von dem sagenhaften Dädalos und von Leonardo da Vinci angefangen, zu allen Zeiten auch die hervorragendsten Geister damit befaßt. In der Tat gibt es auch kaum ein Problem, welches für den Menschen in gleicher Weise verlockend wäre. Jedermann kennt den Formenreichtum der Vogel- und Insektenwelt, der von den Zoologen aus der großen Überlegenheit und Verbreitungsfähigkeit erklärt wird, welche diesen Tierklassen durch das hochentwickelte Flugvermögen zukommt. Der Mensch nun, dessen Eisenbahn das schnellste Rennpferd überflügelt, dessen Schiffe auf und im Wasser trotz ihrer Riesengröße an Lenkbarkeit und Beweglichkeit der Schwimmkunst des Fisches spotten, sollte niemals dem Vogel in die Luft zu folgen vermögen?

Eine Schilderung der Vorteile des lenkbaren Luftschiffes kann hier nicht meine Aufgabe sein; ich bemerke nur, daß

1) Vortrag, gehalten in der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte in Wien 1894.

mit der Beweglichkeit des Mittels zwar die Schwierigkeit wächst, sich dasselbe dienstbar zu machen, aber nach Besiegung derselben auch die erreichbare Geschwindigkeit. Ich erinnere mich noch meiner Verwunderung als Kind, daß man, statt die Landenge von Suez durchzubrechen, nicht lieber Europa, Asien und Afrika durch Eisenbahn verbinde. Ich begriff noch nicht die größere Beweglichkeit des Schiffes im Wasser. Welche Vorteile würde erst die so enorm bewegliche und zudem überall verbreitete Luft bieten!

Es ist kaum zu zweifeln, daß das lenkbare Luftschiff einen Aufschwung in den Verkehr bringen würde, dem gegenüber der durch Eisenbahn und Dampfschiff bewirkte kaum in Betracht käme. Unser heutiges Heer würde den eisernen, unangreifbar dahinsausenden, Dynamit in die Tiefe schleudernden Flugmaschinen nicht anders gegenüberstehen, als ein Römerheer den Hinterladern. Das Zollwesen müßte entweder ungeahnte Verbesserungen erfahren oder ganz aufhören.

Allein wie vor Gauß die Lösung des Problems der Kreisteilung, so mißlang auch bisher die Herstellung des lenkbaren Luftschiffes, so daß das Problem in bedenklicher Weise in Mißkredit kam, ja große Theoretiker sich sogar zur Ansicht hinneigten, seine Lösung sei unmöglich. Erst in neuester Zeit ist wieder eine Wendung eingetreten. Die Unrichtigkeit der alten Formeln wurde klar erwiesen, und ich glaube, Ihnen den Beweis liefern zu können, daß die Lösung dieses Problems nicht nur möglich ist, sondern aller Wahrscheinlichkeit nach schon in kurzer Zeit gelingen wird.

Von mir als einem Theoretiker würden Sie wohl einen langen, auf komplizierte Formeln gegründeten Beweis erwarten; allein ich kann da nichts tun, als die Ohnmacht der theoretischen Mechanik den komplizierten Luftwirbeln gegenüber eingestehen. Eine erschöpfende Darstellung der Geschichte des Problems oder ein Eingehen in die technischen Details einzelner Flugapparate verbietet die Kürze der verfügbaren Zeit. Ich will vielmehr die Aufgabe der Theorie in jenem allgemeineren Sinne auffassen, wonach sie überall die leitenden Ideen anzugeben und die Grundbegriffe herauszuschälen hat.

Der erste Schritt zur Lösung der Aufgaben der Luft-

schiffahrt geschah durch Erfindung des Luftballons. Die Hauptverdienste um diese Erfindung haben die Franzosen, welche sich damals als eine luftige Nation im günstigten Sinne des Wortes erwiesen. Die Gebrüder Mongolfier konstruierten den ersten mit heißer Luft gefüllten Ballon; bald folgte Charles mit einem Wasserstoff enthaltenden Ballon. So war der erste große Schritt geschehen; es war einem Menschen zum erstenmale gelungen, sich frei in die Luft zu erheben. Allein der Ballon entbehrte der Lenkbarkeit; er war ein Spielball des Windes.

Nun folgen die zahllosen Versuche, den Ballon zu lenken. Man suchte dies durch Schaufelräder oder Luftschrauben, beides dem Bewegungsmechanismus des Dampfschiffs entlehnt, zu erreichen; auch Vorrichtungen nach dem Prinzipe der Raketenbewegung fehlten nicht. Um den Ballon leichter fortzutreiben, gab man ihm Zigarrenform mit vorangehender Spitze. Ein derartiger, von den französischen Offizieren Krebs und Renard konstruierter, mit Luftschrauben bewegter Ballon konnte so gut gesteuert werden, daß er bei vollkommener Windstille in der Tat ein lenkbares Luftschiff war. Allein die erreichbare Geschwindigkeit blieb weit hinter der eines mäßigen Windes zurück, so daß er selbst bei geringem Winde die Beute desselben wurde.

In der Tat muß ein Ballon, um einen Menschen in die Luft zu heben, rund das tausendfache Volumen desselben besitzen; um die spezifisch schwereren Maschinenteile zu tragen, ein noch weit größeres. Die Anwendung so kolossaler Körper aber steht in direktem Gegensatze zur Haupteigenschaft, die das Luftschiff charakterisieren soll, zur leichten Beweglichkeit. Unter Anwendung eines Ballons ist eine rasche Fortbewegung ausgeschlossen. Trotzdem können wir das Verdienst dieser Luftschiffer, sich zum erstenmale wirklich in die Luft erhoben zu haben, nicht hoch genug anschlagen; ihr Apparat leistet noch heute zu wissenschaftlichen, militärischen und anderen Zwecken vortreffliche Dienste.

Zur Erfindung des lenkbaren Luftschiffes aber war es nur der erste Schritt. Daß die beim Luftschiffe schon zur Überwindung des Windes unentbehrliche rasche Bewegung zum Tragen einer Last ausgenützt werden kann, sehen wir an den Raubvögeln, welche, nach Erlangung großer Ge-

schwindigkeit, fast ohne Flügelschlag in der Luft fortschweben.. Wir gelangen so zu Flugmaschinen, welche nicht den Auftrieb eines Gases, das spezifisch leichter als Luft ist, sondern bloß die lebende Kraft eines Mechanismus zum Tragen der Last in der Luft benutzen. Dieselben heißen dynamische Flugmaschinen.

Sie zerfallen in zwei Hauptklassen. Bei den einen wird die bewegende Kraft vorzüglich zur Hebung benützt; als solche dienen meist ein oder mehrere Luftschrauben, welche sich in der Luft gerade so vertikal aufwärts fortschrauben, wie die Schraube eines Schraubendampfers horizontal im Wasser. Wie hier genügt ein kleiner Teil der ganzen Schraubenfläche, zwei oder vier gleichsinnig geneigte Flächen, welche sich vermöge ihrer Neigung bei rascher Drehung in der Luft fortschrauben. Ein bekanntes Kinderspielzeug ist das Modell dieses Apparates.

Denken Sie sich an einem schweren Gegenstande zwei oder vier riesige, durch eine Maschine sehr rasch gedrehte, derartige Luftschrauben angebracht, so kann er mit in die Luft getragen werden, Sie haben das Helikoptere.

Bei der zweiten Gattung der dynamischen Flugmaschinen, den Drachenfliegern oder Aëroplanen, dagegen wird die bewegende Kraft hauptsächlich zur horizontalen Fortbewegung benutzt, die Hebung geschieht nach dem von Wellner und Lilienthal am genauesten messend verfolgten Prinzipe, daß eine schwach geneigte und schwach gewölbte Fläche bei rascher Bewegung durch den Luftwiderstand außerordentlich stark gehoben wird. Wir wollen es das Prinzip der schiefen Ebene nennen. Auch dieses Prinzip kann an einem bekannten Kinderspielzeuge, dem Papierdrachen, erläutert werden. Derselbe stellt eine große, schwach gewölbte und durch den angehängten Schwanz schwach geneigte Fläche dar. Wird er an einem Faden rasch durch die Luft fortgezogen, so steigt er zu bedeutender Höhe empor. Dasselbe Prinzip findet auch beim Fluge besonders der großen Vögel Anwendung, wenn sie, wie schon bemerkt, nach erlangter bedeutender Geschwindigkeit ohne Flügelschlag frei in der Luft schweben, was man den Segelflug nennt. Die nötige horizontale Geschwindigkeit kann der Aëroplane entweder durch eine Art Flügelschlag erteilt werden, in welchem Falle sie ganz einem

Vogel gleicht, oder durch die uns schon bekannten Luftschrauben, welche sich aber jetzt nicht nach aufwärts, sondern in horizontaler Richtung fortschrauben.

Herr Kreß hatte die Gefälligkeit, mir ein kleines Modell eines von ihm schon vor 14 Jahren ersonnenen Apparates zur Verfügung zu stellen. Er wird selbes vor Ihren Augen in Bewegung setzen und so besser, als es durch viele Worte möglich ist, Ihnen das Prinzip veranschaulichen. Bei einem so schwierigen Problem ist die denkbarste Vereinfachung der aufgewandten Mittel von höchster Wichtigkeit. Da die horizontale Fortbewegung auch bei jedem anderen Flugapparate mit ähnlichen Mitteln erzeugt werden muß, so stellt die Aëroplane die denkbar einfachste Flugmaschine dar, welche die Tragkraft ohne jeden neuen Mechanismus aufbringt. Sie lehnt sich auch im wesentlichen an den beim Fluge der Raubvögel erprobten Apparat an und hat so von vorneherein die meiste Aussicht auf Erfolg.

Es wurden noch zahlreiche Flugmaschinen konstruiert, welche in der Hauptsache die genannten Grundtypen mit einander kombinieren. So zahlreiche Luftschrauben, die zusammen eine geneigte Fläche bilden; Räder, welche geneigte Flächen unter entsprechender Steuerung im Kreise herumführen, Kombinationen von Ballons mit dynamischen Flugapparaten usw., usw. Ich bin natürlich weit entfernt, über alle diese Apparate ein völlig absprechendes Urteil fällen zu können oder zu wollen. Doch bin ich überzeugt, daß sie wegen der größeren Komplikation mindere Aussicht auf Erfolg haben. Die Erfahrung scheint dies auch zu bestätigen. Auf der im vorigen Monat zu Oxford abgehaltenen britischen Naturforscherversammlung war eine große, von Hiram Maxim konstruierte Flugmaschine der Gegenstand eingehender Debatten, welche im wesentlichen nur eine Ausführung des soeben gezeigten Modells des Herrn Kreß in kolossalen Dimensionen ist. Die beiden Luftschrauben werden durch eine äußerst sinnreich konstruierte, mit Benzin geheizte Dampfmaschine getrieben: die ganze Flugmaschine, welche inklusive 2 Mann, die sie bedienen, 8000 englische Pfund wiegt und mit einer Geschwindigkeit von 30 Metern pro Sekunde, also schneller als der rascheste Eilzug dahinbraust, hat sich in der Tat einmal in die Luft erhoben. Herr Maxim hat

entschieden den zweiten großen Schritt zur Erfindung des lenkbaren Luftschiffes gemacht: er hat bewiesen, daß man durch einen dynamischen Flugapparat in der Tat große Lasten frei in die Luft zu erheben vermag. Die größten englischen Physiker, die alle Theoretiker sind, Lord Kelvin, Lord Rayleigh, Lodge usw., sprachen mit Begeisterung von Maxims Maschine, und ich dachte schon, daß wiederum die Engländer eine neue epochemachende Erfindung die ihre nennen.

Allein die Sache hat doch noch einen Haken. Die Maximsche Maschine lief anfangs wie eine Lokomotive auf Schienen unter ihr, als sie die nötige Geschwindigkeit hatte, aber auf eigens zu diesem Zwecke über ihr gezogenen Schienen. Durch den großen Auftrieb zerbrach zu früh eine der oberen Schienen, die Maschine erhob sich in die Luft; aber alle ihre zahlreichen Lenkvorrichtungen konnten nicht schnell genug in Gang gesetzt werden; sie mußte möglichst rasch zum Stillstand gebracht werden und litt bedeutenden Schaden. Das große Hindernis aller dieser Versuche liegt in ihrer Gefährlichkeit. Ärgerlich bemerkte Maxim in seiner Rede, daß der Flugkünstler nicht nur Techniker sein muß, sondern auch Akrobat. Man denke sich eine so riesige Fläche so schnell bewegt, daß ihr Luftwiderstand gegen 10000 Pfund beträgt, und urteile, welche Störung da jeder Windstoß, jeder Luftwirbel an dem ohne Stützpunkt frei schwebenden Apparate erzeugt, wie kolossal jede Änderung der Neigung, jede Schiefstellung die Bewegung des Ganzen beeinflussen muß. Man studiere die Mannigfaltigkeit und Feinheit der Flügelbewegung des Raubvogels, man bedenke, wie bei der leisesten Unvorsichtigkeit ein Kinderdrachen Purzelbäume in der Luft schlägt, und versetze sich in die Lage des Luftschiffers, dessen Flugapparat in ähnlicher Weise ungehorsam wird.

Freilich, da der Beweis geliefert ist, daß die Kraft der Aëroplane ausreicht, große Lasten in die Luft zu erheben, ist es nur mehr eine Frage der Geschicklichkeit, sie richtig zu lenken. Wer je sah, mit welcher Sicherheit ein ungeheurer Ozeandampfer von wenigen Menschen gelenkt wird, wer das in Eisenwerken oft produzierte Kunststück sah, daß ein Dampfhammer von 1000 Zentnern wenige Millimeter über dem Glase einer Taschenuhr wie auf Befehl stehen bleibt,

der wird nicht bezweifeln, daß auch die Flugmaschine wird gelenkt werden können, sobald die nötigen Erfahrungen gesammelt sind; aber wie diese sammeln, ohne Menschenleben aufs Spiel zu setzen?

Würden wir wagen, nach bloß theoretischer Erklärung der Maschinerie selbst die intelligentesten Menschen, wenn sie noch nie ein Schiff sahen, mit einem Ozeandampfer zwischen gefährlichen Klippen steuern zu lassen? Und da hatten doch andere schon früher die Maschinen erprobt. So wären wir trotz der genialen Leistungen Maxims fast versucht, auf seinen Apparat ein triviales Berliner Sprichwort anzuwenden.

Jede Erfindung hat ihre Vorarbeiter und ihre nachherigen Verbesserer; aber doch muß meist ein Mann als der eigentliche Erfinder bezeichnet werden. Wer nun wird der eigentliche Erfinder des lenkbaren Luftschiffes sein? Maxim ist es heute noch nicht. Nur derjenige wird es sein, der in der Tat in willkürlich gewählter Richtung, so lange ein größerer Kraftvorrat reicht (etwa eine Stunde lang), mit und gegen den Wind in der Luft zu fliegen vermag.

Diese Erfindung ist noch nicht gemacht; noch wäre es Zeit, daß wir den Engländern den Rang ablaufen. Freilich, durch Großartigkeit der Mittel können wir es nicht; Maxims Maschine soll über 300000 Gulden gekostet haben. Aber wie so manches hat der Deutsche schon mit kleinen Mitteln durch Feinheit seiner Ideen geleistet! Wer möchte dies hier in Wien bezweifeln, wo die Zauberflöte, die neunte Symphonie und die Missa solemnis geschrieben wurden? Das sollen sie uns nachmachen in der ganzen übrigen Welt, wenn sie's können!

Freilich will ich damit nicht sagen, daß man allen großen Deutschen in Zukunft nicht mehr gewähren solle, als Mozart hatte. Nicht jeder Mensch ist so ewig heiter, wie er es war; nicht jedes Feld der Tätigkeit so unabhängig wie die Musik. Ressel mußte aus Mangel an Unterstützung den ganzen Nutzen und den halben Ruhm seiner Erfindung den Engländern überlassen. Im Gegenteil, ich möchte dann in der geschäftlichen Sitzung unserer jungen Naturforschergesellschaft, die ebenfalls noch ein wenig in den Lüften balanciert, vorschlagen, als Erstlingsgabe etwas für die Luftschiffahrt zu tun, oder, wenn ihre Mittel nicht reichen, Regierungen dazu zu veranlassen.

Ein Experiment, welches ich als den dritten Schritt zur Erfindung des lenkbaren Luftschiffes bezeichnen möchte, ist einem Deutschen, Herrn Otto Lilienthal, Jngenieur in Berlin, gelungen. Die Schiffahrt auf dem Wasser begann nicht beim Ozeandampfer, sondern beim ausgehöhlten Baumstamme als Kahn. Ebenso begann Herr Lilienthal mit einem möglichst kleinen Flugapparate. Er bewaffnete seine Arme mit zwei zunächst fest verbundenen Flügeln von 15 Quadratmetern Fläche, die im wesentlichen denen des Vogels nachgeahmt sind. Selbe stellen eine Aëroplane dar, die bei genügender Geschwindigkeit einen Menschen zu tragen vermag. Behufs Erlangung dieser Geschwindigkeit verzichtete Herr Lilienthal auf jeden Motor; er lief einfach eine Strecke gegen den Wind und sprang dann, sich auf seine Flügel stützend, in die Luft. Natürlich konnte er, da er keine Kraftquelle besaß, nicht beliebig weit und auch nur in höchst beschränktem Maße aufwärts fliegen; aber indem er anfangs ganz kurze, später längere Sprünge machte, sich immer möglichst nahe der Erde haltend, gelang es ihm endlich auf dem Rhinower Berge durch eine Strecke von 250 m über einen sanft geneigten Abhang immer ziemlich nahe dem Boden dahinzuschweben. Er überzeugte sich da von der großen Gefahr, von einem Windstoß überschlagen oder schief gerichtet zu werden, aber auch von der Möglichkeit, sich durch jahrelange Übung volle Sicherheit im Steuern zu erwerben, was er durch Neigen des Körpers und Bewegen der Füße unter Mitwirkung eines dem Vogelschwanze nachgeahmten, allerdings fixen Steuers bewirkt. Lilienthal hat die Absicht, nun einen ganz kleinen Motor mit sich zu tragen; indem er die Kraft desselben steigert, hofft er die Größe der Flügel und die erlangte Geschicklichkeit im Steuern allmählich den neuen Verhältnissen anpassen zu können, bis die durch den Motor erzielte horizontale Fortbewegung ausreicht, den Fliegenden dauernd über dem Erdboden zu halten. Freilich hätte dieser Flugapparat zunächst noch wenig praktische Bedeutung. Großartige Verbesserungen, die Ausführung in weit größeren Dimensionen wären notwendig, bis sich die eingangs geschilderten wirtschaftlichen und sozialen Konsequenzen ergäben. Allein das Problem wäre doch theoretisch gelöst, ein zum Ziele führender Weg gefunden, die eigentliche Er-

findung des lenkbaren Luftschiffes vollzogen. Diese theoretische Entdeckung des richtigen Weges geht meist der Vervollkommnung zum praktischen Gebrauche voran. Hatten die ersten Telegraphen, die ersten Photographien schon praktische Bedeutung, hätte die Entdeckung Amerikas große wirtschaftliche Folgen gehabt, wenn der Weg dahin für uns noch so beschwerlich, wie für Kolumbus wäre?

Ich muß noch erwähnen, daß Herr Kreß einen auf anderen Prinzipien beruhenden, sehr aussichtsvollen, wenn auch an größeren Lasten noch nicht erprobten Steuerapparat ersonnen hat.

Auch bezüglich des zur Erzeugung der horizontalen Geschwindigkeit zu verwendenden Apparates gehen die Meinungen auseinander. Alle in der Technik benutzten Mechanismen machen eine sogenannte zyklische Bewegung, das heißt, eine Bewegung, wobei sämtliche Bestandteile nach kürzerer oder längerer Zeit wieder in die Ausgangsposition gelangen. Es gibt zwei Systeme der zyklischen Bewegung, die drehende und die hin- und hergehende. Die verschiedenen Räder, die Induktoren der Dynamomaschinen sind Beispiele des ersten, die Kolben der Dampfmaschinen, der Pumpen Beispiele des zweiten Systems. Bei der Fortbewegung im Wasser durch Schaufelräder wird das erste, bei den Rudern und Filschflossen das zweite System benutzt. Lilienthal gibt beim Fluge dem zweiten Systeme den Vorzug, welches allerdings auch in der Natur beim Vogelfluge zur Anwendung kommt, während das erste System, die Anwendung von Luftschrauben zur Erzielung der Horizontalbewegung, in der Natur kein Vorbild hat. Es ist da zu bemerken, daß bei Konstruktion von akustischen und optischen Apparaten, von Pumpen und Fortbewegungsmechanismen die tierischen Organe immer nur bis zu einer gewissen Grenze als Vorbilder dienen können, da die Natur mit abweichenden Mitteln arbeitet und abweichende Zwecke verfolgt; namentlich rotierende Apparate sind ihr fast völlig fremd, während unsere Schaufelräder und Wasserschrauben statt der hin- und hergehenden Fischflossen, unsere Velocipede statt der im buchstäblichen Sinne hin- und hergehenden Füße mit Erfolg verwendet werden.

Nach Lilienthal muß die ganze Aëroplane in zwei Hälften geteilt werden, welche sich wie Vogelflügel beim Flügel-

schlage bewegen. Dadurch wird allerdings das Gleiten (der sogenannte slip) der Schrauben und auch der Kraftverlust durch Erzeugung von Luftwirbeln vermieden, und Lilienthal glaubt deshalb, an die Luft weniger Arbeit zu verlieren. Allein ich bezweifle selbst dies, da beim Flügelschlage immer viel von der beim Senken geleisteten Arbeit beim Heben wieder verloren geht, während bei der Luftschraube wieder das so nutzbringende Prinzip der schiefen Ebene bestens angewendet werden kann. In der Tat arbeiten die Luftschrauben Maxims mit sehr geringem Slip. Dagegen beeinträchtigt die Teilung der Aëroplane in zwei Flügel sehr die Festigkeit und Einfachheit derselben, der Flügelschlag ist nicht ohne erhebliche Komplikation und bedeutende Reibung des Mechanismus erzielbar und wirkt weder so kontinuierlich, noch so scharf regulierbar wie die Luftschraube. Auch ist die Vorherberechnung des Effektes des Flügelschlages weit schwieriger.

Es erscheint daher die durch die Luftschrauben fortbewegte Aëroplane der theoretisch aussichtsvollste Mechanismus und der einzige, welcher sich in kleinen Modellen, sowie in größerer Ausführung bereits tatsächlich in die Luft erhoben hat.

Es ist unglaublich, wie einfach und natürlich jedes Resultat scheint, wenn es einmal gefunden ist, und wie schwierig, so lange der Weg unbekannt ist, der dazu führt. So wird auch die Lenkung der Aëroplane einst von Handwerkern mit Leichtigkeit vollzogen werden; nur von einem Genius ersten Ranges kann sie gefunden werden. Und dieser Erfinder muß nicht nur ein Genius sein, sondern auch ein Held; nicht mit leichter Mühe können dem neu zu bezwingenden Elemente seine Geheimnisse abgerungen werden. Nur wer den persönlichen Mut besitzt, sein Leben dem neuen Elemente anzuvertrauen, und die List, allmählich alle seine Tücken zu überwinden, hat Aussicht, den Drachen zu erlegen, der heute noch den Schatz dieser Erfindung der Menschheit entzieht. Der Erfinder des lenkbaren Luftschiffes muß hierin dem Muster aller großen Entdecker, Christoph Kolumbus, gleichen, der ebenso durch persönlichen Mut wie durch Scharfsinn allen Entdeckern der Zukunft das Beispiel gab. „Setzest du nicht das Leben ein, nie wird dir Großes ge-

wonnen sein.“ Mag daher auch mancher, durch die zahllosen Wunder der Technik unseres Jahrhunderts nicht belehrt, über die Flugversuche spotten; wir wollen die Worte beherzigen, die der idealste Dichter dem größten Entdecker zurief:

Zieh' hin, mutiger Segler, mag auch der Witz dich verhöhnen,
Mag der Schiffer am Steuer senken die mutlose Hand,
Immer, immer nach West, dort muß die Küste sich zeigen,
Liegt sie doch schimmernd und liegt deutlich vor deinem Verstand.
Mit dem Genius steht die Natur in ewigem Bunde.
Was der eine verspricht, leistet die andre gewiß.

Außer der Überlegung und Begeisterung ist nur noch eines nötig, was auch Kolumbus am schwierigsten erlangte, Geld.

7.

Josef Stefan.[1])

Hochansehnliche Versammlung!

Als ein stolzer Prachtbau mit großartigen Mitteln von der hohen Regierung gegründet, reich und sinnig vom Architekten geziert, steht heute die Wiener Universität vor uns. Aber ihr sinnigster Schmuck ist doch die schöne Säulenhalle, der Arkadenhof, wo nach Absicht des Erbauers die stolzesten Erinnerungen der Universität gesammelt, wo Denkmale aufgestellt werden sollten, um der Nachwelt die Züge der bedeutenden Männer, die dort gewirkt haben, aufzubewahren. Ein solcher, der ihr in nachahmungswürdiger Aufopferung sein ganzes Leben widmete, hervorragend durch seine wissenschaftlichen Leistungen, hochverdient als Lehrer der jüngeren Generation, sowie als tätiger Mitarbeiter aller wissenschaftlichen Institute unserer Kaiserstadt, von der Akademie der Wissenschaften bis zu den technischen und gewerblichen Vereinen, Professor Josef Stefan, wurde uns vor nahe drei Jahren in der Vollkraft seines Schaffens jäh durch den Tod entrissen.

Die Nachwelt wird seine wissenschaftlichen Leistungen nennen, in den Herzen seiner zahlreichen Schüler wird die Erinnerung an das, was er für sie getan, nicht verblassen; soll daher die Ruhmesgalerie des Arkadenhofes nicht ganz unvollständig sein, so durfte dort ein Denkmal Professor Stefans nicht fehlen.

Allein die Universität besitzt keine Mittel, auch der hohen Unterrichtsverwaltung oder dem Staate stehen zu solchem

1) Rede, gehalten bei der Enthüllung des Stefan-Denkmals am 8. Dez. 1895. Josef Stefan ist am 24. März 1835 in St. Peter bei Klagenfurt in Kärnten geboren und am 7. Jan. 1893 in Wien gestorben.

Zwecke nur allzu bescheidene Mittel zur Verfügung. Daher taten sich die Freunde, Schüler und Verehrer des Verewigten, voran ein Privatverein, die Wiener physikalisch-chemische Gesellschaft zusammen, und schlugen einen leider nur zu oft betretenen Weg ein. Aber um mit Schiller zu sprechen, „es war ein großer, königlicher Blick, mit dem sie bettelten." Hohe Gönner, ein weiter Kreis österreichischer Patrioten steuerten bei; auch manche Ausländer schlossen sich an und gaben dadurch ihre Verehrung für Stefan Ausdruck. So entstand ein Denkmal, welches, wenn auch vielleicht nicht ganz im Verhältnisse zum architektonischen Prunke des Universitätsgebäudes stehend, doch geschickt von Künstlerhand gebildet, Stefans Züge in würdiger Weise der Nachwelt bewahren wird. Dasselbe wurde von den Sammlern der Universität zum Geschenke gemacht und heute soll es unsern Augen enthüllt werden.

Mir ward die Aufgabe, zur Feier dieses Tages noch einmal in wenigen Zügen Stefans geistiges Bild vor Ihnen zu zeichnen. Großes würdig darzustellen, ist eine erhebende Aufgabe, doch eine schmerzliche ist es, von denen zu sprechen, die man geliebt, und die nun nicht mehr sind. Vor einem Monate wurde ich berufen, dem Schmerze am Grabe unseres Loschmidt Ausdruck zu geben. Kam ich denn vor Jahresfrist nach Wien als Totengräber aller derer, die mir einst dort teuer waren?

Doch wenn wir von den Edeln, die uns gelehrt haben, und an deren Seite wir dann kämpften und rangen, den einen nach dem andern dahin gehen sehen, so ist es unsere Pflicht, den Schmerz zu besiegen, ihn auszulöschen durch die Freude, daß es uns überhaupt gegönnt war, mit ihnen zu verkehren. *Θνήσκειν μὴ λέγε τοὺς ἀγαθούς* sagt ein griechischer Dichter. Mein Geschäft sei daher bloß zu schildern, was uns Stefan gewesen ist; freilich auch keine kleine Aufgabe, in einer kurzen Spanne Zeit davon einen Begriff geben zu wollen, was ein Menschenleben voll angestrengter Tätigkeit geschaffen hat. Gerade eine außergewöhnliche Allseitigkeit ist ja für Stefan charakteristisch. Dabei stehen seine Arbeiten mit den verschiedensten andern in so inniger Wechselbeziehung, daß ich, wenn ich die ersteren erschöpfend auseinandersetzen wollte, fast die ganze Entwickelung der

Physik in den letzten dreißig Jahren schildern müßte. Ich muß mir daher die größte Beschränkung auferlegen und nur einiges wenige herauszuheben versuchen.

Stefan war vor allem theoretischer Physiker, und schon die Fassung dieses Begriffs ist nicht ganz ohne Schwierigkeit. Die Physik ist heutzutage durch ihre vielen praktischen Anwendungen populär geworden. Von der Tätigkeit eines Mannes, der durch Versuche ein neues Gesetz in der Wirkungsweise der Naturkräfte entdeckt oder auch bekannte Gesetze bestätigt und erweitert, dürfte man sich eine Vorstellung machen können. Aber was ist ein theoretischer Physiker? Da letzterer gründliche mathematische Kenntnisse besitzen muß, pflegt man seine Tätigkeit häufig die mathematische Physik zu nennen, jedoch nicht ganz entsprechend; denn auch die Auswertung komplizierter physikalischer Experimente, ja selbst die Lösung technischer Probleme, kann weitschweifige und schwierige Rechnungen erfordern, ist aber doch nicht der theoretischen Physik zuzuzählen. Die theoretische Physik hat vielmehr, wie man früher sagte, die Grundursachen der Erscheinungen aufzusuchen oder wie man heute lieber sagt, sie hat die gewonnenen experimentellen Resultate unter einheitlichen Gesichtspunkten zusammenzufassen, übersichtlich zu ordnen und möglichst klar und einfach zu beschreiben, wodurch die Erfassung derselben in ihrer ganzen Mannigfaltigkeit erleichtert, ja eigentlich erst ermöglicht wird. Deshalb wird sie in England auch natural philosophy genannt.

Der Laie stellt sich da vielleicht die Sache so vor, daß man zu den aufgefundenen Grundvorstellungen und Grundursachen der Erscheinungen immer neue hinzufügt und so in kontinuierlicher Entwicklung die Natur immer mehr und mehr erkennt. Diese Vorstellung ist aber eine irrige, die Entwicklung der theorethischen Physik war vielmehr stets eine sprungweise. Oft hat man eine Theorie durch Jahrzehnte, ja durch mehr als ein Jahrhundert immer mehr entwickelt, so daß sie ein ziemlich übersichtliches Bild einer bestimmten Klasse von Erscheinungen bot. Da wurden neue Erscheinungen bekannt, die mit dieser Theorie im Widerspruch standen; vergeblich suchte man sie diesen anzupassen. Es entstand ein Kampf zwischen den Anhängern der alten und denen einer ganz neuen

Auffassungsweise, bis endlich letztere allgemein durchdrang. Man sagte da früher, die alte Vorstellungsweise wurde als falsch erkannt. Es klingt dies so, als ob die neue absolut richtig sein müsse und anderseits, als ob die alte (weil falsch) völlig nutzlos gewesen wäre. Um den Schein dieser beiden Behauptungen zu vermeiden, sagt man heutzutage bloß: Die neue Vorstellungsweise ist ein besseres, ein vollkommeneres Abbild, eine zweckmässigere Beschreibung der Tatsachen. Damit ist klar ausgedrückt, daß auch die alte Theorie von Nutzen war, indem auch sie teilweise ein Bild der Tatsachen gab; sowie, daß die Möglichkeit nicht ausgeschlossen ist, daß die neue wiederum durch eine noch zweckmäßigere verdrängt werden kann. Zur Erläuterung hiervon dürfte wohl kein Beispiel geeigneter sein, als die Entwicklung der Theorie der Elektrizität.

Im Jahre 1820 machte Oerstedt die Entdeckung, daß ein in der Nähe einer Kompaßnadel vorbeigeleiteter elektrischer Strom eine kleine Bewegung derselben verursacht. Neben der Entdeckung, daß geriebener Bernstein kleine Körperchen anzieht, und daß der Magneteisenstein Stücke aus weichem Eisen festhält, ist Oerstedts Entdeckung wohl das leuchtendste Beispiel, von welcher Wichtigkeit die unscheinbarste, völlig neue Tatsache sein kann.

Dies war eine rein experimentelle Entdeckung. Die Magnetnadel machte in der Nähe des Stromes eine kleine Bewegung. Wie groß und wohin gerichtet dieselbe bei jeder Lage und Entfernung von Strom und Nadel ausfällt, war damit noch nicht ausgedrückt; aber in kurzer Zeit entwarf Biot eine genaue Theorie dieser Erscheinung. Ampère zog den Schluß, daß auch zwei Drähte, in denen Ströme fließen, Kräfte aufeinander ausüben müssen, und als sich dies bestätigte, stellte er, von gewissen Prämissen ausgehend, eine aus 25 Buchstaben bestehende Formel auf, welche für die unendliche Mannigfaltigkeit der Form, Lage und Beweglichkeit, deren die beiden Stromkreise fähig sind, die Wirkung mit derselben mathematischen Exaktheit zu berechnen gestattet, mit welcher der Astronom eine Sonnenfinsternis berechnet. Diese Theorie Ampères wurde mit Recht wegen ihres außerordentlichen Scharfsinns bewundert und lange als die einzig mögliche Theorie dieser Wirkungen hingenommen. Freilich hatte schon

Graßmann, von einer andern Ansicht als Ampère ausgehend, eine andere Formel gefunden, welche dasselbe leistet, aber erst Stefan war es vorbehalten, in dieser Sache vollkommene Klarheit zu schaffen. Er analysierte alle möglichen Vorstellungen, die man sich von der Wechselwirkung zweier Stromelemente machen kann, und zeigte, daß weder die Ampèresche, noch die Graßmannsche Theorie den Gegenstand erschöpft, daß es vielmehr unendlich viele verschiedene Theorien gibt, welche alle mit der Erfahrung in gleicher Weise übereinstimmen, und wovon die beiden genannten nur ganz spezielle Fälle sind. Damit war der große Wert der Ampèreschen Entdeckung keineswegs geschmälert, aber das Ansehen der alten Theorie war doch erschüttert; es war gezeigt, daß ihr Weg zu einem eindeutigen Resultat nicht führen kann, und damit nahegelegt, einen andern zu betreten. Die Vorbereitungen hierzu waren schon längst in England gemacht worden. Faraday und Maxwell hatten diesen andern Weg schon angebahnt; sie konnten der ganzen bis dahin üblichen Vorstellung, daß es zwei elektrische Fluida gebe, deren Teilchen in die Ferne aufeinander wirken und welche, gleichförmig gemischt, sich aufheben, keinen Geschmack abgewinnen, und letzterer hatte, von ganz anderen Vorstellungen ausgehend, eine neue Theorie der Elektrizität entwickelt. Er nahm an, daß die Elektrizität kein Fluidum, sondern ein Bewegungszustand ist, welcher vom elektrischen Körper auf ein eigentümliches umgebendes Medium, den Lichtäther, übergeht. Letzterer übt dann Kräfte auf die darin eingetauchten Körper aus und erzeugt so den Schein, als ob dieselben direkt in die Ferne aufeinander wirkten.

Man hatte sich am Kontinente an die alte Theorie der beiden Fluida so sehr gewöhnt, daß die neuen Ideen wenig Beachtung fanden. So hat Kirchhoff bis an sein Lebensende die Maxwellsche Theorie nur nebenher erwähnt. Nur zwei Physiker des Kontinentes waren es, welche sofort deren Bedeutung erkannten. Helmholtz und Stefan. Als ich (noch Universitätsstudent) in vertrauteren Umgang mit Stefan trat, war sein erstes, daß er mir Maxwells Abhandlungen in die Hand gab, und da ich damals kein Wort Englisch verstand, noch eine englische Grammatik dazu; ein Lexikon hatte ich von meinem Vater überkommen. Stefan hatte

die Maxwellsche Theorie bereits einmal in seinen Vorlesungen behandelt, als die berühmte, an sie anschließende Arbeit Helmholtzs erschien. Da publizierte auch Stefan seine Arbeiten über die Maxwelsche Theorie, und es gelang ihm, die Helmholtzschen Ausführungen noch erheblich zu vereinfachen und zu klären. Der Zweck dieser Arbeiten Helmholtzs und Stefans war, zu zeigen, wie man aus den Maxwellschen Anschauungen wieder zu den Formeln der alten Theorie gelangen kann und so demjenigen, der an die alte Theorie gewohnt war, das Verständnis der neuen zu erschließen. Manche weitere nicht ganz unwesentliche Stütze der neueren Theorie hat die Stefansche Schule geliefert, bis der entscheidende Schlag, der der Maxwellschen Theorie definitiv zum Siege verhalf, einem Schüler Helmholtzs, dem als Professor in Bonn verstorbenen Physiker Heinrich Hertz gelang. Auch an dem weitern Ausbau der Hertzschen Ideen hat Stefan in seinen letzten Lebensjahren noch mitgewirkt. Doch würde es mich zu weit führen, hierauf näher einzugehen; nur die hervorragendste Leistung Stefans, die Entdeckung des nach ihm benannten Strahlungsgesetzes sei noch erwähnt.

Ich habe Stefan in erster Linie als theoretischen Physiker bezeichnet; doch hat er auch zahlreiche und bedeutende Experimentaluntersuchungen durchgeführt. Die hervorragendste hiervon ist die Bestimmung der Wärmeleitung der Gase. Die sogenannte Gastheorie war damals zu allgemeiner Anerkennung gelangt, d. h. die Hypothese, daß die Gase Aggregate sehr kleiner Körperchen (der Moleküle) sind, die sich in steter lebhafter Bewegung befinden. Wenn man die untere Hälfte eines Gefäßes mit einem Gase, z. B. Sauerstoff, die obere mit einem andern, z. B. Stickstoff füllt, so mischt sich der Stickstoff allmählich mit dem Sauerstoff, wie Wein, den man über Wasser gegossen hat, sich allmählich im Wasser verbreitet. Die Geschwindigkeit dieser Verbreitung (der sogenannten Diffusion) konnte aus der Gastheorie vorausberechnet werden. Aber schon den Wein vollkommen reinlich über Wasser zu gießen, ist nicht ganz leicht. Bei Gasen ist das Experiment wegen ihrer außerordentlichen Beweglichkeit so schwierig, daß sich Bunsen und Graham vergeblich bemüht hatten, die Diffusions-

geschwindigkeit genau auszumessen. Die Messung dieser Geschwindigkeit gelang zuerst Prof. Loschmidt, und sie stimmte in der Tat mit dem aus der Gastheorie voraus berechneten Werte.

Die Verbreitung der Wärme in einem Gase, die sogenannte Wärmeleitung, geschieht nun ebenfalls dadurch, daß sich die Molekülarbewegung allmählich von Molekül zu Molekül fortpflanzt, und ihre Geschwindigkeit kann ebenfalls aus der Gastheorie berechnet werden. Da war es wieder von großer Wichtigkeit, zu prüfen, ob sich die Wärme in einem Gase in der Tat mit der von der Theorie berechneten Geschwindigkeit fortpflanze. Aber gerade der genauen Messung der Wärmeleitung in einem Gase schienen sich unübersteigliche Schwierigkeiten in den Weg zu stellen. Kein geringerer Forscher als Magnus in Berlin hatte es versucht, dieses Problem zu lösen, aber so wenig Übereinstimmung erzielt, daß sich aus seinen Versuchen in einzelnen Fällen die Wärmeleitung der Luft sogar negativ ergab.

Da erfand Stefan einen Apparat von fabelhafter Einfachheit, den er Diathermometer nannte. Mittels desselben konnte er die Wärmeleitungsfähigkeit der verschiedenen Gase mit einer Genauigkeit bestimmen, die man früher nicht für möglich gehalten hätte, und es fand auch jene andere Voraussagung der Gastheorie eine glänzende Bestätigung. Aber keineswegs bloß für die Gastheorie, auch für die Experimentalphysik, ja sogar für die Praxis ist der Stefansche Apparat von Wichtigkeit. So fand Stefan mit seinem Apparate, daß Wollstoffe die Wärme ungefähr in gleichem Maße leiten, wie die Luft, so daß dieselben also nicht deshalb warm halten, weil die Wollfaser die Wärme besonders schlecht leitet, sondern weil die zwischen den Fasern eingeschlossene Luft die Wärme nur langsam durchläßt; die Leitung der Faser selbst kommt fast gar nicht in Betracht. Dieselbe hat nur die Aufgabe, die Beweglichkeit der Luft zu hemmen. Wenn der Hygieniker heute prüfen will, welche Kleidungsstoffe am besten warm halten, so bedient er sich des Stefanschen Diathermometers.[1])

---

1) Vergl. Max Rubner, Pettenkofers Archiv für Hygiene, 1895, Heft 3 und 4, S. 300.

Ich habe schon bemerkt, daß Stefan von großer Allseitigkeit war. Wenn man sämtliche Gebiete, wo er Schönes und Anerkennungswertes geleistet hat, anführen wollte, so müßte man einfach alle Kapitel der Physik der Reihe nach aufzählen. Es ist daher ganz unmöglich, hier jede seiner wissenschaftlichen Leistungen einzeln zu würdigen. Auch auf Stefans ohnedies sehr einfachen Lebenslauf will ich hier nicht eingehen; es dürfte dies um so weniger nötig sein, als sowohl die ausführliche Diskussion aller einzelnen Arbeiten Stefans, als auch die Beschreibung seines Lebenslaufes in einer von der physikal.-chem. Gesellschaft herausgegebenen Gedenkrede enthalten ist, welche einen der bedeutendsten Schüler Stefans, Herrn Obersten Albert von Obermayer zum Verfasser hat. Dieser war es auch, der sich die größten Verdienste um die Gründung des heute zu enthüllenden Denkmals erworben hat. Lebte Stefan noch, so würde er sich über die hohe Anerkennung und Förderung freuen, die sein Schüler Oberst Obermayer auch von Seite der hohen Militärverwaltung erfährt, welche mit Recht auf diesen Gelehrten in der österreichischen Armee stolz ist und zeigt, daß die Zeiten für immer vorüber sind, wo ungewöhnliches Verdienst in Österreich nicht gebührend geschätzt wurde.

Daß Stefan beide Hilfsmittel der Naturerkenntnis, die experimentelle Forschung und die Rechnung gleichmäßig beherrschte, gab ihm einen besonders klaren Einblick in den Zusammenhang der Naturerscheinungen. Wo es zur Erreichung der größten Schärfe der Gedanken erforderlich war, benutzte er in seinen Vorlesungen die Hilfsmittel der höchsten Gebiete der Mathematik und wußte die schwierigsten Entwickelungen in der klarsten und übersichtlichsten Form darzustellen, ohne je in mathematischen Formalismus zu verfallen. Vielmehr betonte er immer scharf den physikalischen Sinn und die praktische Anwendung der Rechnung. Aber er las auch mustergültige Kollegien über Experimentalphysik.

Wer Gelegenheit hatte, die Gymnasien des Deutschen Reiches mit den österreichischen zu vergleichen, wird unzweifelhaft erkennen, daß gerade der physikalische Unterricht in Österreich auf einer weit höheren Stufe steht. Es liegt dies vor allem an dem besseren Studienplane; daß der-

selbe aber auch durch tüchtige Lehrkräfte richtig erfaßt wird, darum hat sich Stefan in seiner langen Lehrtätigkeit an der Universität nicht kleine Verdienste erworben.

Es hat Professor Franz Exner in seinem sehr dankenswerten Artikel in der „Neuen Freien Presse“ über Loschmidt und Doppler die Verdienste des letztern um die Gründung des physikalischen Institutes der Wiener Universität mit Recht betont. Stefans Verdienst aber war es, daß dieses Institut in der neuesten Geschichte der Physik eine seines Gründers so würdige Rolle gespielt hat. Außer den Arbeiten von Stefan selbst und den schon erwähnten Loschmidts wurden dort die Dielektrizitätskonstanten einer Reihe wichtiger Körper, so des kristallisierten Schwefels und verschiedener Gase bestimmt, weitere schöne Experimentaluntersuchungen wurden von Oberst Obermayer, Prof. Ditscheiner und anderen ausgeführt. Vernehmen wir darüber das Urteil eines gewiß ebenso kompetenten als unparteiischen Gelehrten. Eine Stelle eines mir vorliegenden Briefes des schon erwähnten englischen Physikers James Clerk Maxwell lautet in wortgetreuer Übersetzung: „Ich bin sehr erfreut über die ausgezeichneten Arbeiten Ihrer Schüler; in England wurde bisher der Unterricht in der Experimentalphysik sehr vernachlässigt. Sir William Thomson hat in dieser Beziehung noch das meiste getan, aber Sie sind uns mit gutem Beispiele vorangegangen.“ Dieser Brief ist allerdings an Loschmidt gerichtet, doch bezieht sich das in den angeführten Worten enthaltene Lob hauptsächlich auf Stefan, da ja Loschmidt damals selbst kein Institut hatte und nur als Gast im Stefanschen Institute arbeitete. So ist das damals in Erdberg untergebrachte physikalische Institut ein Beweis, daß in schlechten Räumen Bedeutendes geleistet werden kann, ja, Erdberg blieb mir mein ganzes Leben hindurch das Symbol ernster, durchgeistigter experimenteller Tätigkeit. Als es mir in Graz gelungen war, in das dortige physikalische Institut einiges Leben zu bringen, nannte ich dasselbe scherzweise Klein-Erdberg. Nicht räumlich klein, meinte ich, es war vielleicht doppelt so groß, als Stefans Institut; aber den Erdberger-Geist hatte ich noch lange nicht hineingebannt.

Noch in München, als die jungen Doktoranden zu mir kamen und gerne gearbeitet hätten, nur wußten sie nicht,

was? dachte ich: da waren wir in Erdberg doch andere Leute. Heute stehen die schönsten Apparate herum, und man denkt nach, was man damit anfangen könne. Wir hatten immer genug Ideen; unsere Sorge war nur, woher die Apparate nehmen. Wenn es damals gelang, mit kleinen Mitteln viel zu leisten, bitte ich aber daraus nicht den Schluß zu ziehen, daß man emsigen Forschern immer recht unzureichende Mittel zur Verfügung stellen solle. Eins blieb in der Tat in Wien zurück, nämlich der praktische Unterricht der Lehramtskandidaten im Experimentieren. Da sind eben solche Mittel und Räume nötig, wie sie heute nicht nur die physikalischen Institute in Berlin, München, Straßburg, sondern sogar in Erlangen und Graz besitzen.

Das wahre Wort Prof. Wilhelm Webers, daß der Universitätslehrer nicht bloß die Aufgabe hat, durch Worte zu unterrichten, sondern vor allem durch seinen Charakter der heranreifenden Jugend Muster und Vorbild zu sein, findet auf keinen andern mehr Anwendung, als auf Stefan. Jedermann kannte seine Pflichttreue und Arbeitsamkeit, welche nicht nachließ, auch wenn sie eine Bezwingung körperlichen Unwohlseins durch eiserne Willenskraft erforderte. Doch damit ist die Trefflichkeit seines Charakters, der Zauber, den er auf die akademische Jugend ausübte, keineswegs erschöpft. Letzterer konnte nur empfunden werden, und daher mögen Sie es entschuldigen, wenn ich nochmals der Schilderung meiner eigenen Erinnerungen und Gefühle Raum gebe.

Ich habe bisher nur der wissenschaftlichen Anregung gedacht, die ich im alten physikalischen Institute zu Erdberg empfing. Weshalb mir das Andenken an diese Zeit für immer so teuer ist, das ließe sich nur begreiflich machen, wenn ich das Glück zurückrufen könnte, das nun auf ewig entschwunden ist, wenn ich die Schatten der beiden großen Männer zu rufen vermöchte, die damals vereint dort wirkten: Stefan und Loschmidt. Beide waren in vielen Dingen ungleich. Stefan war universell und behandelte alle Kapitel der Physik mit gleicher Liebe; Loschmidt war einseitig, wenn er über einen Gegenstand Tag und Nacht grübelte, verlor er fast ganz den Sinn für alles andere. Stefan war praktisch, er behandelte gern und mit Geschick die Anwendung seiner Wissenschaft zu technischen und gewerb-

lichen Zwecken; Loschmidt war, obwohl einst selbst in Fabriken tätig, doch das Prototyp des unpraktischen Gelehrten. Stefan errang sich auch mehr allgemeine Anerkennung. Er wurde zum Dekan und Rektor der Wiener Universität gewählt, war Sekretär und später Vizepräsident der Akademie der Wissenschaften; Loschmidt dagegen blieb fast gänzlich unbekannt.

In einem dagegen waren sich die beiden vollkommen gleich, in der unendlichen Bedürfnislosigkeit, Einfachheit und Schlichtheit ihres Wesens. Nie suchten sie ihrer geistigen Überlegenheit durch äußere Formen Ausdruck zu verleihen. Obwohl zuerst Student und dann jahrelang Assistent, hörte ich von ihnen nie ein anderes Wort, als es der Freund zum Freunde spricht, und vollends die olympische Heiterkeit, der erhabene Humor, der dem Studenten gerade die schwierigsten Diskussionen zum unterhaltenden Spiele machte, hat sich mir so tief eingeprägt, dass er gewissermassen in mein eigenes Wesen überging. Ich ahnte damals gar nicht, daß es mir (dem Lernenden) nicht ziemte, in diesen Ton einzustimmen. Ein einziger Blick Helmholtzs klärte mich darüber auf, als ich bei meinen späteren Arbeiten im Berliner Laboratorium am ersten Tage harmlos den gewohnten Ton anschlug. Als ich dann Herrn Glan, damals Assistent, jetzt Professor, diesen Blick schilderte, erwiderte er stolz: „Sie sind hier in Berlin." Weder Stefan noch Loschmidt machten meines Wissens eine Reise außerhalb des österreichischen Vaterlandes. Jedenfalls besuchten sie nie eine Naturforscherversammlung, traten nie mit fremden Gelehrten in innigere persönliche Beziehungen. Ich kann dies nicht billigen; ich glaube, daß sie bei geringerer Abgeschlossenheit noch mehr hätten leisten können. Wenigstens hätten sie ihre Leistungen rascher bekannt und daher fruchtbringender gemacht.

Als ich vor zwei Jahren in Oxford in einer Gesellschaft auf das Unglücksjahr 1866 zu sprechen kam, glaubte mir einer der Anwesenden ein Kompliment zu machen, indem er sagte, die Österreicher waren zu gut, um zu siegen. Diese Güte und Selbstgenügsamkeit werden wir uns abgewöhnen müssen. Aber da heute Schlichtheit und Bedürfnislosigkeit immer mehr aus der Welt entschwinden, so müssen wir uns Glück wünschen, daß gerade Österreich wie einst, so

noch heute Männer besitzt, deren einziger Fehler ein Üb
maß dieser Tugenden ist, und mit dem höchsten Vorbil
der Genügsamkeit und Heiterkeit, mit unserem Moza
wollen wir ausrufen:

„In unsern heiligen Mauern,
Wo der Mensch den Menschen liebt,
Kann kein Verräter lauern,
Weil man dem Feind vergibt.

Wen solche Lehren, wen die Beispiele solcher Mänr
nicht erfreun, der verdient nicht ein Mensch, verdient ni
ein Österreicher zu sein."

8.

Ein Wort der Mathematik an die Energetik.[1]

Wie in jeder Wissenschaft haben auch in der theoretischen Physik die Anschauungen im Verlauf der Zeit die mannigfachsten Umwälzungen erfahren. Heutzutage strebt man zunächst eine möglichst klare, hypothesenfreie Beschreibung der Erscheinungen und Präzisierung der Gesetze derselben an; dieses Ziel haben sich Kirchhoff, von Helmholtz, Clausius (in seiner allgemeinen Wärmetheorie), Hertz, Lord Kelvin, Gibbs usw. gesteckt. Die Ansicht, daß auch Wärme, Elektrizität usw. einer mechanischen Erklärung fähig seien, wird dabei nicht zugrunde gelegt oder spielt doch keine wesentliche Rolle. Nebenbei und ohne die Wichtigkeit der ersten Methode zu leugnen, suchte man sich namentlich mit großem Erfolge von den Erscheinungen der Elastizität, des Flüssigkeitsdrucks, des Lichts und der Wärme, aber auch von denen der Elektrizität und des Magnetismus (Maxwell) möglichst anschauliche, bisher ausschließlich der Mechanik entnommene, Bilder zu machen, welche in der als Dogma längst nicht mehr anerkannten Ansicht gipfelten, daß die ganze Welt durch die Bewegung materieller Punkte darstellbar sei. Diese mechanischen Bilder blieben ihrer Natur nach unvollständig, aber auch die allgemein beschreibenden Theoreme bedurften, um sie eindeutig anwendbar zu machen, einer etwas komplizierten Begründung und Formulierung. Ich erwähne als Beispiel das Hamiltonsche Prinzip, den 2. Hauptsatz der Wärmelehre und die Gibbschen Theoreme, endlich die Maxwell-Hertzschen Fundamentalgleichungen des Elektromagnetismus.

Es glaubten nun in neuester Zeit einige Forscher alle

1) Aus den Annalen der Physik und Chemie, Band 57, S. 39, 1896.

diese Komplikationen entbehren und die Fundamentalsätze in viel einfacherer Form aussprechen zu können. Da sie schließlich zur Konsequenz gelangten, daß die Energie das eigentlich Existierende sei, nannten sie sich Energetiker. Wir wissen nicht, ob unsere heutige Naturauffassung die zweckmäßigste ist; daher ist das Streben einen allgemeineren und höheren Gesichtspunkt, als den der heutigen theoretischen Physik zu erreichen, gewiß gerechtfertigt. Die heutigen Energetiker begnügen sich aber keineswegs mit diesem Streben, sondern sie behaupten, daß sie einen solchen höheren Gesichtspunkt bereits erreicht hätten, und daß daher die Ausdrucksweise und die Methoden der theoretischen Physik schon heute ganz verlassen oder doch in den wesentlichen Grundzügen verändert werden sollen, welche Behauptung ich im folgenden widerlegen zu können glaube. Die Bemerkung, daß ich die Gelehrten, deren Namen ich später erwähnen werde, persönlich zu meinen besten Freunden zählen zu dürfen hoffe, zahlreiche ihrer Leistungen zu den hervorragendsten wissenschaftlichen Arbeiten rechne und mich nur gegen ihre speziell energetischen Publikationen wende, wird genügen, um zu verhüten, daß späteren gegen irgend eine Schlußfolgerung oder mathematische Formel gerichteten Angriffen der mindeste persönliche Charakter beigelegt werde.

I. Mechanik.

§ 1. Wir beginnen mit der am meisten bearbeiteten Disziplin der theoretischen Physik, der Mechanik. Ob die Bewegung der Körper eine Tatsache der direkten Wahrnehmung ist, oder ob nicht vielmehr in der Art und Weise, wie wir uns dieselbe denken, schon ein ganzes Gebäude von Hypothesen liegt, die wir halb unbewußt hinter den Tatsachen der direkten Wahrnehmung konstruiert haben, kann dahingestellt bleiben, da die Energetik diese Frage ebenfalls nicht berührt, und es sich hier bloß um die Darstellungen der Mechanik vom energetischen Stundpunkte handelt.

§ 2. Mir ist bloß eine derartige, in sich abgeschlossene Darstellung bekannt, nämlich die des Herrn Helm.[1])

Herr Helm glaubt die mir unlösbar scheinende Aufgabe,

---

1) Helm, Ztschr. f. Math. u. Ph. 35. p. 307. 1890.

sämtliche Bewegungsgleichungen der Mechanik aus einem einzigen Integrale (dem der Konstanz der Energie) abzuleiten, dadurch gelöst zu haben, daß er den Unterschied zwischen Differentialen und Variationen fallen läßt. Seien x, y, z die Koordinaten eines materiellen Punktes von der Masse m, ferner x', y', z' deren Ableitungen nach der Zeit und X, Y, Z die Komponenten der auf diesen Punkt wirkenden Kraft, so ist die lebendige Kraft $T = \frac{1}{2} m (x'^2 + y'^2 + z'^2)$ und deren Differential $dT = m(x''dx + y''dy + z''dz)$. Ferner ist das Arbeitsdifferentiale $dA = Xdx + Ydy + Zdz$. Durch Gleichsetzung beider Differentiale folgt:

$$(mx'' - X)dx + (my'' - Y)dy + (mz'' - Z)dz = 0 .$$

Hier betrachtet nun Herr Helm dx, dy und dz als unabhängig und setzt dx von 0 verschieden, dagegen $dx = dz = 0$, wodurch er erhält: $mx'' - X = 0$. Da er aber früher $dx = x'dt$, $dy = y'dt$, $dz = z'dt$ gesetzt hatte, so ist mit $dy = dz = 0$ auch $y' = z' = 0$ gesetzt worden. Aus Herrn Helms Deduktion folgt also bloß, daß für jene Zeiten, wo $y' = z' = 0$ ist, die Relation $mx'' = X$ besteht und daß ein Gleiches für die beiden anderen Koordinatenrichtungen gilt, keineswegs aber, daß die drei Gleichungen

$$mx'' - X = my'' - Y = mz'' - Z = 0$$

allgemein gelten. Man kann in diesem einfachen Falle die drei Bewegungsgleichungen aus dem einen Energieprinzipe durch Zuziehung gewisser allgemeiner Sätze, z. B. des Superpositionsprinzipes, des Prinzipes der gleichen Beschaffenheit des Raumes nach allen Richtungen usw. gewinnen. Daher ist die Ableitung der Lagrangeschen Gleichungen durch Herrn Helm noch schlagender.

§ 3. Hier bezeichnet Herr Helm mit s_k eine verallgemeinerte Koordinate und s'_k deren Ableitung nach der Zeit, mit $dA = \sum_k S_k ds_k$ die geleistete Arbeit, wenn wir uns auf den Fall beschränken, wo keine Gleichung zwischen den s_k besteht. Er findet

$$dT = \sum_k \frac{\partial T}{\partial s_k} ds_k + \sum_k \frac{\partial T}{\partial s'_k} \partial s'_k .$$

Da das Endergebnis durch die früheren Untersuchungen schon bekannt ist, so erhält Herr Helm durch Nachahmung der durch die Variationsrechnung bedingten Umformung das

richtige Resultat; doch scheint mir die Schlußweise, durch welche er dazu gelangt, ebenfalls nicht einwurfsfrei, da mit der Annahme, daß alle anderen ds bis auf ds_k verschwinden, wiederum die andere bedingt ist, daß auch alle anderen s' verschwinden. Derjenige, der das Schlußresultat nicht vorher kennt, würde in der Tat statt der Helmschen Transformation folgende näherliegende vornehmen. Er würde zunächst schreiben:

$$\frac{\partial T}{\partial s'_k} = \sum_i \frac{\partial^2 T}{\partial s'_k \partial s'_i} s'_i ;$$

daraus würde, analog wie früher $x' dx' = x'' dx$ gesetzt wurde, folgen

$$\sum_k \frac{\partial T}{\partial s'_k} ds'_k = \sum_k \sum_i \frac{\partial^2 T}{\partial s'_k \partial s'_i} s''_k ds_i ,$$

wo man, da sowohl k als auch i alle möglichen Werte anzunehmen haben, auch die Buchstaben k und i vertauschen kann, gerade so, wie man im bestimmten Integrale die Integrationsvariabeln bezeichnen kann, wie man will. Man kann also ebensogut schreiben:

$$\sum_k \frac{\partial T}{\partial s'_k} ds'_k = \sum_k \sum_i \frac{\partial^2 T}{\partial s'_k \partial s'_i} s''_i ds_k .$$

Setzt man dieses in die Gleichung

$$dT - dA = \sum_k \frac{\delta T}{\delta s_k} ds_k + \sum_k \frac{\delta T}{\delta s'_k} ds'_k - \sum_k S_k ds_k = 0$$

ein, so folgt:

$$\sum_k \frac{\partial T}{\partial s_k} ds_k + \sum_k \sum_i \frac{\partial^2 T}{\partial s'_k \partial s'_i} s''_i ds_k - \sum_k S_k ds_k = 0 .$$

Ordnet man dies nach den ds_k und nimmt diese unabhängig voneinander an, so folgt:

$$\frac{\partial T}{\partial s_k} + \sum_i \frac{\partial^2 T}{\partial s'_k \partial s'_i} s''_i = S_k$$

für jeden Wert von k und man ist so durch Anwendung genau derselben Prinzipien, durch welche Herr Helm das richtige Resultat erhält, zu total falschen Gleichungen gelangt.

§ 4. Herr Ostwald behandelte bei verschiedenen Gelegenheiten die Ableitung der Grundgleichungen der Me-

chanik aus den Prinzipien der Energetik.[1]) Doch gab er nirgends eine konsequente Durchführung, überall nur Andeutungen. Als Beispiel, wie sehr deren Verständnis durch ihre dem Mathematiker ungewöhnliche Behandlungsweise erschwert wird, führe ich, außer dem schon von Herrn Sophus Lie besprochenen Prinzipe des ausgezeichneten Falles hier noch ein paar ganz konkrete Spezialfälle an. Sei $\frac{1}{2}mv^2$ die lebendige Kraft eines sich im Kreise bewegenden Trabanten, jMm/r^2 die Anziehung des Zentralkörpers, daher $C - jMm/r$ die potentielle Energie. Man weiß, daß nach dem Prinzipe der stationären Wirkung

$$\delta W = \delta \int_0^\tau \left(\frac{mv^2}{2} - C + \frac{jMm}{r}\right) dt = 0$$

sein muß. Daß hier die potentielle Energie das entgegengesetzte Vorzeichen erhalten muß, sowie das τ konstant betrachtet werden muß, wird bekanntlich aus Hamiltons Prinzipien bewiesen. Gewöhnlich betrachtet man auch Ausgangspunkt und Endpunkt der Bewegung als unveränderlich. Diese Bedingung ist überflüssig, wenn die ursprüngliche und variierte Bahn beide geschlossen sind.[2]) Das Integrale, über die ursprüngliche Kreisbahn erstreckt, hat den Wert

$$W = \delta \left(\frac{mv^2}{2} - C + \frac{jMm}{r}\right).$$

Geht man zu einer unendlich nahen Kreisbahn über, so muß

$$\delta W = \delta \left[\tau \left(\frac{mv^2}{2} - C + \frac{jMm}{r}\right)\right] = 0$$

sein, wenn $\tau = 2\pi r/v$ konstant ist, woraus sofort

$$\frac{jMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

folgt. Hier ist jeder Schritt in den allgemeinen Regeln vorgezeichnet, sie müssen zum richtigen Resultat führen.

Herr Ostwald dagegen[3]) schließt einfach aus dem Prinzipe der virtuellen Energien, daß

---

1) Ostwald, Lehrb. d. allg. Chemie 2. p. 1—39. Viele Abh. in d. sächs. Gesellsch. d. Wissensch. 1891—1895.

2) Sitzungsber. d. Wien. Akad. 53. p. 213, 8. Febr. 1866; 75. p. 76, 11. Jan. 1877, Abschn. III.

3) Ostwald, Lehrb. d. allg. Chemie 2. p. 26.

(1) $$d\left(\frac{mv^2}{2}\right) = d\left(C - \frac{jMm}{r}\right)$$

sein muß. In anderen Fällen (z. B. beim Gleichgewichte am Hebel oder zwischen dem Gewichte eines Stempels und der Volumenenergie eines Gases) muß die Summe der Änderungen aller Energien, hier dagegen muß die Differenz verschwinden. Bei Anwendung des Hamiltonschen Prinzipes ist der Grund davon klar. Ich zweifle nicht, daß Herr Ostwald nachträglich für diese verschiedene Art der Behandlung einen ad hoc ersonnenen Grund finden wird, aber weder hierfür noch dafür, daß zur Gleichung (1) gerade die Bedingung $\tau = 2\pi r/v =$ konst. kommen muß, sehe ich einen Grund in den Prinzipien seiner Theorie. Man würde ein anderes Resultat erhalten, wenn man zur Gleichung (1) die Bedingung hinzunähme, daß die doppelte Flächengeschwindigkeit vr oder die Größe $v^a r^b$ konstant sein müsse. Es würde sich darum handeln, zu zeigen, daß die richtige Gleichgewichtsbedingung aus den Prinzipien der Theorie vorher gesehen werden konnte; daß das gewünschte Resultat folgt, wenn man die gerade dazu führende Bedingungsgleichung auswählt, ist ja selbstverständlich.

Bei einer andern Gelegenheit bemerkt Herr Ostwald (Allg. Chemie p. 488), daß wir nicht den absoluten Wert von v^2, sondern bloß die Differenz $v_1^2 - v_0^2$ bestimmen können. Da wir aber offenbar auch $v_1 - v_0$ bestimmen können, so ließe sich, wenn die Differenz $v_1^2 - v_0^2$ bestimmt wäre, v_1 und v_0 absolut berechnen, was der Erfahrung widerspricht.

Die absonderliche Tatsache, daß bei der kinetischen Energie die Intensität ein Vektor ist und zwei Körper mit gleicher Geschwindigkeit erst dann im Gleichgewichte sind, wenn auch deren Richtung dieselbe ist, sei hier nur kurz erwähnt.

§ 5. Bei diesem Stand der Dinge mag man es entschuldigen, wenn ich auf die Gefahr hin, zu irren, selbst Herrn Ostwalds Ideen einheitlich zu fassen suche. Man kann die Mechanik, wie ich glaube, einwurfsfrei aus folgenden Prinzipien erhalten:

1. Die mechanischen Systeme bestehen aus materiellen Punkten, deren kinetische Energie in bekannter Weise gleich

$\frac{1}{2}\sum mv^2$ ist und deren potentielle (Distanz-) Energie eine Summe von Funktionen der Entfernung je zweier ist.

2. Wenn alle materiellen Punkte anfangs ruhen, so bewegen sie sich während des nächstfolgenden unendlich kleinen Zeitteilchens so, daß unter Wahrung des Energieprinzipes ein Maximum potentieller Energie sich in kinetische umwandelt.[1])

3. Wenn sich die materiellen Punkte schon anfangs bewegten, so superponiert sich die Geschwindigkeit, welche sie schon haben, während jedes Zeitmomentes mit der, welche sie nach 2 erhalten würden, wenn sie sich zu Anfang des betreffenden Zeitmomentes in gleicher relativer Lage in Ruhe befänden.

Eine zweite einwurfsfreie Begründung der Mechanik erhält man, wenn man nach Herrn M. Planck annimmt, daß das Energieprinzip für die Bewegung jedes materiellen Punktes in jeder der drei rechtwinkligen Koordinatenrichtungen separat gilt.[2]) Allein alle diese Begründungen scheinen mir keineswegs zu leisten, was die Energetik verspricht. Denn erstens stellen sie alle die Hypothese an die Spitze, daß die Körper aus materiellen Punkten bestehen, welche sonst von der Energetik als die am wenigsten berechtigte Beschränkung der Freiheit unseres Denkens bezeichnet wird. Eine direkte Ableitung der allgemeinen Eulerschen Bewegungsgleichungen für starre Körper, der Gleichungen der Elastizitätslehre und Hydrodynamik aus energetischen Prinzipien, ohne den Umweg für die atomistische Hypothese ist mir nicht bekannt. Zweitens fördern sie nicht im mindesten unseren Einblick in die Prinzipien der Mechanik; sie legen keine allgemeinen, auch in der übrigen Energetik geltenden Sätze zugrunde, sondern schließen sich ganz der alten Begründung der Mechanik an, die sie nur in wenig glücklicher Weise teilweise in die Sprache der Energetik einkleiden. Das Prinzip des Maximums des Umsatzes wird seiner universellen Bedeutung von vornherein durch die Beschränkung beraubt, daß es nur für den ersten Übergang vom Zustande

---

1) Karl Neumann, Das Ostwaldsche Axiom. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. 13. Juni 1892.

2) Planck, Das Prinzip d. Erhalt. d. Energie, Teubner 1887 p. 148.

vollkommener Ruhe zu dem sehr kleiner Bewegung gilt; das Superpositionsprinzip als allgemeines Naturprinzip hinzustellen, schiene mir sehr verfrüht; zudem wird es durch die Forderung seiner gesonderten Anwendbarkeit auf die drei verschiedenen Koordinatenrichtungen zur reinen Abstraktion, da ja die Koordinatenaxen doch nur in unserer Phantasie existieren. Außerdem ist noch, wenn mehrere materielle Punkte existieren, die Trennung der verschiedenen Arbeiten, welche jeder einzelne Punkt bei seiner Bewegung leistet, willkürlich.

§ 6. Im grellen Gegensatze zu den jetzt besprochenen Ausführungen der Energetiker, welche den Übergang von der allgemeinen Energielehre zur Lehre von den Bewegungen und Gestaltsänderungen der uns kontinuierlich scheinenden Körper nur durch die Hypothese der Existenz materieller Punkte finden, steht die neueste Anschauung Herrn Ostwalds, nach der die Energie das eigentliche Seiende sei und eines besonderen irgendwie benannten Trägers gar nicht bedürfe. Ich gebe das letztere von der Wärmeenergie, solange diese für sich allein betrachtet wird, zu. Aber schon bei Erklärung oder sagen wir Beschreibung der Gesetze der kinetischen Energie stößt man auf eine Schwierigkeit, welche meines Wissens noch nicht bemerkt worden ist. Obwohl dieselbe eigentlich mehr philosophischer Natur ist, will ich doch den Versuch wagen, sie hier begreiflich zu machen.

Betrachten wir die Wärme als das ursprünglich Gegebene oder wenn man will, Seiende. Wir können dann annehmen, daß sie an verschiedenen Stellen des Raumes in verschiedener Menge vorhanden sein, sowie, daß sie von Ort zu Ort wandern kann. Um die Gesetze dieser Wanderung zu beschreiben, führen wir die Begriffe der Temperatur, Wärmekapazität usw. ein und nehmen als erfahrungsmäßig gegeben an, daß die Wärmekapazität selbst wieder an einer bestimmten Stelle des Raumes nicht zu allen Zeiten dieselbe bleibt, sondern unabhängig von der Wärme selbst, aber ebenfalls nach festen Gesetzen sich verändern oder von einem Ort zum andern wandern kann. Wir haben dann eine ebenso klare Beschreibung der reinen Wärmephänomene, als wenn wir sagen, die Materie sei das Existierende und die Wärme eine Eigenschaft derselben.

Nun wollen wir aber in gleicher Weise die Gesetze der kinetischen Energie zu beschreiben suchen. Diese sei das ursprünglich Gegebene, also nicht weiter Definierbare. Sie sei an verschiedenen Stellen des Raumes in verschiedenem Grade vorhanden. Die Massen seien blosse Zahlenfaktoren, welche wir verschiedenen Stellen des Raumes zuschreiben, um die Gesetze der Wanderung der kinetischen Energie beschreiben zu können. Nichts hindert uns nun anzunehmen, daß die Werte dieser durch den Begriff der kinetischen Energie erst definierten Zahlenfaktoren sich mit der Zeit nach bestimmten Gesetzen ändern oder auch, daß ein bestimmter Wert mit einer gewissen Geschwindigkeit von Punkt zu Punkt im Raume fortwandert; allein völlig unstatthaft ist es, das ursprünglich Existierende, die kinetische Energie, wieder als das Produkt des halben Wertes dieses Zahlenfaktors (der halben Masse) in das Quadrat der Geschwindigkeit zu definieren, mit welcher dieser Wert im Raume von Punkt zu Punkt fortschreitet, während vordem der Begriff der Masse aus dem der kinetischen Energie abgeleitet wurde. Dies ist ein logischer Widerspruch, eine Contradictio in adiecto, oder, wenn man lieber will, eine die Erscheinungen unzweckmäßig beschreibende Ausdrucksweise. Wenn ich zuerst sage: die kinetische Energie ist das einfache, ursprünglich Seiende, nicht weiter Beschreibbare und dieselbe, als das Produkt des Kapazitätsfaktors desjenigen Raumes, in welchem sie existiert, in das Quadrat der Geschwindigkeit beschreibe, mit welcher dieser Wert des Kapazitätsfaktors von Punkt zu Punkt fortwandert, so liegt hier ein unlösbarer Widerspruch vor.

Definiere ich die kinetische Energie als das ursprünglich Gegebene, so mache ich offenbar einen großen Fehler, wenn ich, wie es Herr Ostwald in seinen soeben zitierten Schriften zu tun scheint, bloß Gesetze für die Ortsveränderungen der Massen aufstelle und die kinetische Energie als das Produkt der halben Masse in das Geschwindigkeitsquadrat der betreffenden Ortsveränderungen definiere. Ich müßte im Gegenteil Gesetze für die Wanderungen der kinetischen Energie selbst im Raume aufstellen; bei Aufstellung derselben müßte ich dann irgendwo einen durch Zahlen ausdrückbaren Begriff (die Masse m) einführen, und es müßte sich dann

hinterher als Erfahrungstatsache (Naturgesetz) ergeben, daß jedesmal, wo kinetische Energie ist, der Wert dieses Zahlenfaktors im Raume fortwandert und zwar mit einer Geschwindigkeit, welche gleich der Quadratwurzel aus einem Bruche ist, dessen Nenner jene Zahl m und dessen Zähler der doppelte Wert der Energie ist.

Aus den obigen Ausführungen dürfte klar hervorgehen, wie weit wir noch von einer einwurfsfreien Naturbeschreibung vom energetischen Standpunkte entfernt sind, und daß die Energetiker, während sie die bisher übliche Darstellungsweise der theoretischen Physik wegen einiger (wie ich zeigen werde vielfach eingebildeter) Schwierigkeiten als abgetan erklären, selbst viel größere Schwierigkeiten einführen.

II. Wärmelehre.

§ 7. War auf dem Gebiete der reinen Mechanik die Energetik fast vollkommen unfruchtbar, so hat sie auf dem der Thermodynamik zahlreiche neue Ausdrucksformen, auch hier und da materiell (oder soll ich sagen energetisch?) Neues hervorgebracht. Wir wollen untersuchen, welche Bedeutung diese Resultate haben. Das Differential der zugeführten Energie irgend einer Art wurde seit jeher in der Form JdM dargestellt, ja es muß schon aus mathematischen Gründen diese Form haben. Die physikalischen Eigenschaften der Größen J und M wurden auch bereits seit langem besonders von Gibbs erkannt, den ich nicht zu den Energetikern zähle, da er nirgends eine wesentliche Abweichung von den bisherigen Anschauungen und Darstellungsformen der theoretischen Physik empfiehlt.

Von der Energetik neu eingeführt ist vor allem die Zerlegung des Gesamtbesitzes eines Körpers an irgendeiner Energieart, z. B. an Wärme in zwei Faktoren. Dieselbe findet sich an vielen Orten (siehe viele Abhandlungen in der sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften) doch am ausführlichsten dargestellt in Herrn Ostwalds Lehrbuch der allgemeinen Chemie, II, p. 490. Gerade die Unbestimmtheit der Grundlage der betreffenden Untersuchungen und die damit verbundene Unklarheit der sich daran anschließenden Betrachtungen erschwert in hohem Grade deren Widerlegung. Ich muß mich darauf beschränken, an einzelnen Beispielen

Unrichtigkeiten nachzuweisen, ohne damit etwa den Resultaten von Herrn Ostwald an anderen Orten zuzustimmen.

Herr Ostwald setzt p. 492 die Wärmeenergie eines vollkommenen Gases

$$E = U_1 + R(t + 273)\, ln \frac{v}{v_0},$$

wobei R und v_0 Konstanten, v und t das Volumen und die Celsiustemperatur, U_1 eine Funktion der Temperatur und ln den natürlichen Logarithmus bedeutet. Hieraus findet er

$$\frac{dE}{dt} = \frac{dU_1}{dt} + R\, ln \frac{v}{v_0}.$$

Er sagt, daß er bei konstanter Entropie s differentiieren wollte, während er faktisch bei konstantem v differentiiert hat. Es müßte also s nur Funktion von v sein, worauf auch p. 491, Z. 11 v. o. und p. 493, Z. 11 v. u. hinzudeuten scheint. Dem widerspricht aber direkt der Wert

$$s = s_0 + c_v\, ln \frac{T}{T_0} + R\, ln \frac{v}{v_0},$$

den Herr Ostwald selbst auf p. 497 findet. Eins von beiden, die Differentiation oder dieser Wert von s muß notwendig falsch sein.

§ 8. Ferner zerlegt Herr Ostwald die gesamte Energie eines Gases, welche erfahrungsmäßig der absoluten Temperatur T proportional ist, also den einfachen Wert γT hat, in zwei Teile, die Volumenenergie $\Phi = C - RT\, ln(v/v_0)$ und die Wärmeenergie, für welche der komplizierte Wert $E = \gamma T - C + RT\, ln(v/v_0)$ übrig bleibt. Von dieser nicht in der Natur der Vorgänge gelegenen Zerlegung weicht er selbst wieder ab, indem er p. 494 und 495

$$c = \frac{dQ}{dT}, \quad ds = \frac{dQ}{T}$$

und sogar $Q = sT$ setzt, statt wie anfangs

$$c = \frac{dE}{dT}, \quad ds = \frac{dE}{T}, \quad E = sT$$

zu schreiben. Aus seinen Angaben ist nicht zu erkennen, ob s die in dem bekannten gewöhnlichen Sinne verstandene Entropie oder eine ganz neue von Herrn Ostwald eingeführte Funktion ist.

Selbstverständlich, weil durch Erfahrung begründet, ist die Zerlegung der gesamten zugeführten Wärme in die auf äußere Arbeitsleistung und die auf Vermehrung der inneren Energie verwendete. Diejenigen Teile der alten Wärmetheorie, welche an das mechanische Bild anknüpfen, müssen die letztere Wärme in die auf Erhöhung der kinetischen Energie der Moleküle und die auf innere Arbeitsleistung verwendete zerlegen. Clausius z. B. tat dies, indem er zwischen der wirklichen und wahren Wärmekapazität unterschied. Wenn nun die Energetiker diese Zerlegung als nicht in der Erfahrung begründet verwerfen, so sollten sie nicht wieder eine durch Erfahrung ebenso unbegründete Zerlegung der gesamten in einem Körper enthaltenen Wärmeenegie vornehmen, deren Schwierigkeit sie selbst zugeben (Herrn Ostwalds jetzt immer zitiertes Lehrbuch p. 495, Z. 5 v. o) und welche schon in dem einfachen Falle der vollkommenen Gase so unnatürlich ausfällt.

§ 9. Gehen wir mehr ins Spezielle ein, so kommen wir auf noch größere Schwierigkeiten.

Auf p. 494 heißt es: Ist in einem Gebilde Energie mit einer anderen Energie im Gleichgewichte, so herrscht die Beziehung $sdT = cdi$. Da müßten doch c und i Kapazität und Intensität einer anderen Energie sein. Es wird aber $cdi = dQ$ gesetzt; und unter sdT wird auch nichts anderes als dQ verstanden. Wie kann aus dieser Identität das neue Resultat folgen, daß $dQ/Q = dT/T$ ist? Entsprechend wird nun $Q = cT$ gesetzt, während früher $E = cT$ war. In der Formel

$$dE = cdi = sdT$$

stellte dE die bei konstantem s zugeführte Wärme, dT den dadurch erzeugten Temperaturzuwachs dar (p. 490, Z. 14 v. o.), während jetzt p. 494, Z. 5 v. o. dQ gleich der Differenz der beiden adiabatisch bei einem zwischen den Temperaturen T und $T + dT$ vorgenommenen Kreisprozesse entzogenen bez. zugeführten Wärmen ist. Die beiden Gleichungen $dQ/Q = dT/T$, welche Ostwald p. 494, einerseits Z. 5, andererseits Z. 17 v. o. aufstellt, sind zwar der Form nach identisch, aber die Buchstaben haben in beiden eine ganz andere Bedeutung. Überdies gilt für den Kreisprozeß die Gleichung nur dann, wenn dabei das Maximum von Arbeit gewonnen wird, d. h. wenn

er umkehrbar vorgenommen wird. Wenn nicht, so kann auch $dQ/Q = dT/2T$ ja sogar $dQ = 0$ sein. Wie verhält es sich mit dem Ungleichheitszeichen in diesen Fällen, wo nicht die Summe, sondern die Differenz der Energiedifferentiale gleich Null ist? Ich kann, wie schon bemerkt, die betreffenden Ausführungen Herrn Ostwalds nicht genauer diskutieren, weil ich seinen Gedankengang nicht verfolgen kann.

§ 10. Ähnlich geht es mit der Anwendung derselben Gleichung auf p. 499. Hier kommen in der Tat zwei Energiearten ins Spiel, und Herr Ostwald sieht einen besonderen Fortschritt darin, die bekannte Gleichung

$$\frac{l}{T(v_1 - v_2)} = \frac{dp}{dT}$$

aus seinen Formeln gewissermaßen hervorzaubern zu können. Es kann sich doch wohl nicht darum handeln, ob sich aus Herrn Ostwalds Prämissen irgendwie etwas ableiten läßt, was beiläufig die Form dieser Gleichung hat. Eine solche Verwendung des Analogieprinzipes würde jedem präzisen Denken ein Ende machen. Wir können nur fragen, ob er klare Regeln angegeben hat, aus denen die fragliche Gleichung mit Notwendigkeit folgt.

Er beruft sich auf p. 25 und 35. Allein weder dort noch in der sächsischen Gesellschaft vom 8. Juni 1891 p. 276 ist die Fassung klar, doch scheint sich das an allen diesen Stellen formulierte Prinzip auf den Fall zu beziehen, daß eine kleine Energiemenge in einem Gebilde eine andere Form annimmt. Solche Fälle sind z. B. folgende:

An der gleicharmigen oder ungleicharmigen (römischen) Wage sinke ein Gewicht P_1 und dh_1, ein anderes P_2 erhebe sich um dh_2, d. h. es sinkt um $-dh_2$. Dann wächst die Energie des ersten Gewichts (des Systems Erde, Gewicht) um $dE_1 = -P_1 dh_1$, die des anderen um $dE_2 = +P_2 dh_2$ und es ist für den Fall des Gleichgewichts $dE_1 + dE_2 = 0$.

Ein sich ausdehnendes Gas hebe ein Gewicht P um dh. Die Energie des Gases wächst um $dE_1 = -pdv$, die des Gewichts um $dE_2 = +Pdh$. Es ist wieder $dE_1 + dE_2 = 0$.[1])

1) Daß Herr Ostwald bei Ableitung der Formel für die Zentrifugalkraft geradeso wie jetzt wiederum bei Betrachtung der Koexistenz zweier Phasen $dE_1 - dE_2 = 0$ schreibt, wurde schon bemerkt.

In dem Beispiele, das uns jetzt beschäftigt, handelt es sich im einfachsten Falle um ein Gefäß, welches die Masse m_1 flüssigen Wassers und die Masse m_2 gesättigten Wasserdampfes enthält. Irgendeine virtuelle Veränderung der Energieverteilung wird im allgemeinen die Temperatur um dT erhöhen. Wir nehmen erstens an, dies geschehe durch Zufuhr der Wärmemenge dQ bei konstantem Volumen. Dann würde ein dreifacher Energieumsatz stattfinden. Die Wärmemenge dQ würde einem äußeren Reservoir entzogen. Davon würde der Wassermenge m_1 die Wärmemenge $m_1 \gamma_1 dT$, der Dampfmenge m_2 die Wärmemenge $m_2 \gamma_2 dT$ zugeführt; eine dritte Wärmemenge würde zur Verwandlung einer kleinen Wassermenge in Dampf verwendet. Die beiden spezifischen Wärmen γ_1 und γ_2 von Wasser und Dampf beziehen sich bekanntlich weder auf konstantes Volumen, noch auf konstanten Druck, sondern auf eine Erwärmung, wobei zwischen Druck und Temperatur die für den gesättigten Dampf geltende Beziehung besteht. Welche sind nun die Energien, deren Zuwächse Herr Ostwald auf p. 499 gleich $v_1 dp$, $v_2 dp$, $s_1 dT$ und $s_2 dT$ setzt?

Ein anderer Energieumsatz würde darin bestehen, daß das Volumen unseres Gefäßes adiabatisch um dv verkleinert würde. Dann würde die äußere Arbeit pdv (natürlich nicht vdp) dem Gemische zugeführt. Von derselben würde wieder der Betrag $m_1 \gamma_1 dT$ auf Erwärmung des Wassers, der Betrag $m_2 \gamma_2 dT$ auf Erwärmung des Dampfes und ein dritter Teil auf Verdampfung einer kleinen Wassermenge verbraucht.

Die Aufgabe, durch exakte Analyse dieser Vorgänge seine Gleichung abzuleiten, hat Herr Ostwald offenbar nicht gelöst.

Genügt Herrn Ostwalds Motivierung, um die in Rede stehende Gleichung zu beweisen, so kann ich mit ebensoviel Recht folgendermaßen schließen: ich erwärme ein Gas bei konstantem Volumen um dT. Dabei steigt der Druck um dp. Nach Herrn Ostwald muß $sdT = vdp$ sein, also $s = dp/dT$, wobei der Differentialquotient bei konstantem Volumen zu verstehen ist. Nun ist aber bei konstantem Volumen $dp/dT = R/v$. Es ist also für ein ideales Gas $s = R/v$. Dieses Resultat ist aber offenbar falsch.

§ 11. Ich glaube überdies noch den Beweis liefern zu können, daß Herrn Ostwalds Gleichung auf p. 499 nicht

einmal richtig ist. Herr Ostwald schreibt nur die Differenz der für Wasser und Dampf geltenden Gleichungen

$$(s_1 - s_2)\,dT = (v_1 - v_2)\,dp\,.$$

Es ist traurig genug, daß ich nicht einmal völlig klar geworden bin, ob aus Herrn Ostwalds Prinzipien auch die Richtigkeit jeder für Wasser, bezw. Dampf allein geltenden Gleichung

(2) $$s_1\,dT = v_1\,dp\,, \qquad s_2\,dT = v_2\,dp$$

folgt oder nicht; doch scheint Herr Ostwald das erstere zu glauben, da er die Bildung der Differenz bloß damit motiviert, daß man den Gesamtwert der Entropie nicht angeben kann. Trotzdem kann man, wenn die Gleichungen (2) gelten, daraus eine Reihe von Konsequenzen ziehen. Es müßte dann

$$s_1/v_1 = s_2/v_2 = dp/dT$$

sein. Da nun v_1, v_2 und dp/dT experimentell bestimmbar sind, so müßten die zu s_1 und s_2 hinzutretenden Konstanten bestimmbar sein. Diese von vornherein widersinnige Konsequenz würde einen Mathematiker zur Annahme eines prinzipiellen Fehlers veranlassen. Da es aber den Physiker vielleicht wenig berührt, wenn uns hier plötzlich eine Bestimmung der Entropiekonstante gegeben wird, so wollen wir die Konsequenzen der Gleichungen (2) weiter verfolgen. Es müßte die Proportion bestehen:

$$s_1 : s_2 = v_1 : v_2\,.$$

Die Unstatthaftigkeit dieser Proportion ließe sich leicht erweisen. Ich ziehe es jedoch, um jeden Zweifel über die Unrichtigkeit der Gleichungen (2) zu heben, vor, in der nun folgenden Tabelle für Wasser und Wasserdampf die 4 Größen s_1, s_2, $v_1\,dp/dT$ und $v_2\,dp/dT$ zuzammenzustellen, deren Berechnung ich der Gefälligkeit meines Assistenten Herrn Dr. Jäger verdanke. Dabei wurde v_2 aus dem Boyle-Charlesschen Gesetz gefunden, v_1 und dp/dT den Regnaultschen Tabellen entnommen, s_2 nach der Formel in Ostwalds Lehrbuch der allgemeinen Chemie II p. 498 berechnet, deren Richtigkeit ebenfalls von der Gültigkeit des Boyle-Charlesschen Gesetzes abhängt. Für das flüssige Wasser kann in der Gleichung

$$dQ = \gamma_v\,dT + p\,dv$$

as zweite Glied wegfallen (die genauere Rechnung zeigt, daß dv etwa 10^5mal kleiner als $\gamma_v dT$ ist) und $\gamma_v = \gamma_p$ gesetzt rerden. Somit wird

$$s_1 = \int \frac{dQ}{T} = \int \gamma_p \frac{dT}{T} = \gamma_p \log \operatorname{nat} T + C,$$

ıdem auch γ_p für alle Temperaturen als konstant angesehen rerden kann. Die willkürliche Konstante wurde unter Anahme der Richtigkeit der Gleichungen (2) für die Temperatur 00° bestimmt. Die Kolumne unter $v_2\, dp/dT$ kann auch für $(v_2 - v_1)\, dp/dT$ als gültig angesehen werden, da v_1 gegen v_2 ehr klein ist.

t	s_1	$v_1 \frac{dp}{dT}$	s_2	$v_2 \frac{dp}{dT}$	$s_2 - s_1$
0° C.	— 13300	0,34	80600	94600	93900
5	— 12500	0,45	79400	90300	91900
10	— 11800	0,61	78100	88600	89900
15	— 11000	0,81	76000	87000	87900
20	— 10200	1,07	75800	85300	86100
25	— 9600	1,40	74700	83600	84300
30	— 8900	1,82	73600	82000	82600
35	— 8200	2,33	72700	80400	80900
40	— 7500	2,96	71700	78800	79200
45	— 6800	3,72	71000	77300	77800
50	— 6100	4,64	70100	75800	76100
55	— 5500	5,7	69100	74300	74600
60	— 4900	7,0	68300	72900	73200
65	— 4300	8,6	67500	71500	71800
70	— 3600	10,3	66800	70100	70400
75	— 3000	12,4	66100	68800	69100
80	— 2400	14,8	65400	67500	67800
85	— 1800	17,5	64800	66200	66600
90	— 1200	20,8	64100	65200	65300
95	— 600	24,3	63500	64000	64100
100	+ 28,4	28,4	62900	62900	62900
110	+ 1200	38,4	61900	61300	61800
120	+ 2200	50	60800	58900	58600
130	+ 3300	65	59900	57000	56600
140	+ 4300	83	59000	55300	54700
150	+ 5300	105	58200	53800	52900
160	+ 6300	131	57500	52200	51200
170	+ 7300	161	56800	50600	49500
180	+ 8200	196	56100	49200	47900

Wie man sieht, stimmen die Werte der beiden letzten Kolumnen genügend überein. Da sich hierin eine bekannte

Konsequenz der mechanischen Wärmetheorie ausspricht, so beweist dies, daß die gemachten Vernachlässigungen gestattet sind. Hingegen lassen sich die Werte der zweiten und dritten Kolumne absolut nicht in Übereinstimmung bringen, und auch zwischen jenen der vierten und fünften haben wir so bedeutende Abweichungen, daß sie unmöglich aus den gemachten Vernachlässigungen erklärt werden können. Damit ist aber auch die Unrichtigkeit der Gleichungen (2) erwiesen.

Eine genauere Formel für die Entropie des flüssigen Wassers kann folgendermaßen gefunden werden. Wir gehen von einer beliebigen Temperatur T und einem beliebigen Drucke p aus. Die Wärme, welche der Masseneinheit flüssigen Wassers zugeführt werden muß, um die Temperatur um dT, den Druck um dp zu steigern, wobei deren ursprüngliches Volumen v und dv wachsen soll, schreiben wir in der Form $dQ = \gamma_v dT + p dv$. Beim Atmosphärendruck p_0 sei $v = f$, wobei f eine Funktion von T ist. Bei der Temperatur T und einem anderen Drucke sei $v = f - \omega(p - p_0)$, wobei der Kompressionskoeffizient ω ebenfalls eine Funktion der Temperatur ist. Suchen wir hieraus p und substituieren es in dem Ausdrucke für dQ, so folgt:

$$dQ = \gamma_v dT + \left(p_0 + \frac{f - v}{\omega}\right) dv. \tag{3}$$

Wir betrachten hier T und v als die independenten Variabeln. Da dQ/T ein vollständiges Differential sein muß, so hat man

$$\frac{1}{T}\frac{\partial \gamma_v}{\partial v} = \frac{d\left(\frac{f + \omega p_0}{\omega T}\right)}{dT} - v\frac{d\left(\frac{1}{\omega T}\right)}{dT}.$$

Daraus folgt durch Integration:

$$\gamma_v = -\frac{v_2}{2}T\frac{d\left(\frac{1}{\omega T}\right)}{dT} + vT\frac{d\left(\frac{f + \omega p_0}{\omega T}\right)}{dT} + \varphi,$$

wobei φ wieder eine Funktion von T allein ist, welche sich aus der spezifischen Wärme γ_p^0 beim konstanten Atmosphärendruck p_0 bestimmt. Bei konstantem Atmosphärendruck ist $v = f$, $dv = f' \cdot dT$, wenn f' die Ableitung der Funktion f ist.

Daraus folgt

$$dQ = \gamma_v dT + p_0 f' dT, \qquad \gamma_p^0 = \frac{dQ}{dT} = \gamma_v + p_0 f'.$$

Substituiert man für γ_v obigen Wert und für v den Wert f, so folgt

$$\varphi = \gamma_p^0 - p_0 f' + \frac{f^2}{2} T \frac{d\left(\frac{1}{\omega T}\right)}{dT} - f \cdot T \frac{d\left(\frac{f + \omega p_0}{\omega T}\right)}{dT}.$$

Hiermit ist φ als Funktion von T bestimmt. Substituiert man diesen Wert wieder in die allgemeine Gleichung (3), und den betreffenden Wert in die Gleichung

$$s_1 = \int \frac{dQ}{T} = \int \left[\frac{\gamma_v}{T} dT + \left(\frac{p_0}{T} + \frac{f - v}{\omega T}\right) dv\right],$$

so findet man nach einigen leichten Reduktionen:

$$s_1 = \int \frac{\gamma_p^0}{T} dT - \frac{(v - f)^2}{2\omega T} + \frac{(v - f) p_0}{T} + \text{konst.}$$

Auch wenn nach dieser Formel gerechnet wurde, erwiesen sich die Zusatzglieder, sowie die Veränderlichkeit der Größe γ_p^0 mit der Temperatur als verschwindend klein, so daß mit genügender Annäherung $s_1 = \gamma_p^0 \log \text{nat}\, T + C$ gesetzt werden kann.

§ 12. Auf Grund der beiden Hauptsätze der mechanischen Wärmetheorie, wie sie von Clausius und Lord Kelvin präzisiert wurden, bewies Herr Gibbs, daß, wenn der Zuwachs dE der Energie eines Körpers beim Übergange von einem stationären in einen unendlich nahen Zustand in die Form $TdS + \Sigma JdM$ gebracht wird, die Größen J eine universelle Bedeutung haben, sobald für Systeme von Körpern einfache Gleichungen zwischen dem M bestehen. T ist die absolute Temperatur, S die Entropie, M sind gewisse Parameter, welche mit der Entropie zusammen den stationären Zustand bestimmen. Die meisterhafte Fassung und Begründung des betreffenden Theorems durch Gibbs schien offenbar den Energetikern nicht einfach genug. Daher haben sie dasselbe „verallgemeinert“ und in verschiedener Weise variiert, etwa nach dem Schema: Man braucht nur überhaupt das Energiedifferentiale in die Form ΣJdM zu bringen, so müssen schon die J diese Eigenschaften haben, oder gar: Es ist ein allgemeines Naturgesetz,

daß sich der jeder Energieart entsprechende Anteil von dE in die Form JdM bringen läßt, wo J und M bestimmte merkwürdige Eigenschaften haben. Alles das scheint mir vollkommen falsch oder vielmehr den präzisen Lehrsätzen Gibbs gegenüber unbestimmt und unklar zu sein, so daß man daraus manchmal Wahres aber auch vollkommen Unrichtiges ableiten kann, letzteres z. B. folgendermaßen: Wir wissen, daß, wenn man $dE = TdS + \Sigma JdM$ setzt, die J die von Gibbs betonten Eigenschaften haben. Wir können nun statt der independenten Variabeln M und S, dieselben M im Vereine mit irgend einer Funktion Θ von S und M (z. B. der absoluten Temperatur T selbst) als independente Variabeln einführen. Dann wird:

$$dE = T\frac{\partial S}{\partial \Theta}d\Theta + \Sigma\left(J + T\frac{\partial S}{\partial M}\right)dM.$$

Dieser Ausdruck hat auch wieder die Form ΣJdM, und doch überzeugt man sich leicht, daß nun die Koeffizienten der dM keineswegs die sonst den Intensitäten zukommenden Eigenschaften haben.[1]) Wenn man daher dE beliebig in diese Form bringt, so wird man im allgemeinen seinen Zweck gar nicht erreichen. Weiß man nicht schon von anderwärts, wie man zu verfahren hat, so braucht man eine bestimmte Regel, und da gelang es den Energetikern nicht, an Stelle der Gibbsschen eine einfachere, ebenfalls richtige zu setzen. Nur bei solchen Energien, die zur Entropie nichts beitragen, wie die rein mechanische oder die einer elektrostatischen Ladung (nicht mit dem allgemeinen Begriffe elektrischer Energie zu verwechseln) entfällt das Glied $\partial S / \partial M$, und es bleiben bei Einführung beliebiger Variabeln, solange man dieselbe M beibehält, auch die Faktoren J ihrer Differentiale dieselben.

1) So ist für ein vollkommenes Gas $dE = TdS - pdv$. Die beiden Faktoren T und p bestimmen das Wärme- und Druckgleichgewicht. Führe ich aber statt S und v die independenten Variabeln T und v ein, so ist: $dE = c_v dT$, wobei c_v die Wärmekapazität bei konstantem Volumen ist. Die Gleichheit dieser Wärmekapazität für zwei Gase ist keineswegs die Bedingung des Wärmegleichgewichts zwischen denselben. Das Differential dv aber hat jetzt in dem Ausdruck für dE den Faktor Null, welcher für alle Körper gleich ist. Es müßten also alle Körper im Druckgleichgewichte stehen. Kompliziertere Beispiele ließen sich, soweit über die betreffenden Körper die Daten überhaupt bekannt sind, leicht geben.

§ 12. Ferner hat Gibbs nur die Regeln aufgestellt, wann ein System von Körpern im Gleichgewicht ist und in welchem Sinne eine Zustandsänderung möglich ist. Er variiert da den Zustand des Systems, indem er jeden einzelnen Körper desselben in einen anderen unendlich wenig verschiedenen Gleichgewichtszustand übergehen läßt, so daß also dS, dT usw. für jeden Körper bestimmt definierte Größen sind. Von allen möglichen Variationen betrachtet er jene, für welche $d\Sigma S = 0$ ist. Wenn für alle diese Veränderungen $d\Sigma E \geqq 0$ ist, so sind im ursprünglichen Zustande die Körper untereinander im Gleichgewichte. S ist dabei die Entropie, E die Energie eines Körpers des Systemes; die Summe ist über alle Körper des Systemes zu erstrecken.

Da für jeden Körper

(4) $$dE = TdS + \Sigma JdM$$

ist, so reduziert sich diese Bedingung auf $\Sigma\Sigma JdM \geqq 0$, wobei die eine Summierung über alle Körper des Systems, die anderen über alle Parameter M eines Körpers zu erstrecken ist. Es ist immer nur der Anfangszustand und der variierte Endzustand maßgebend, von der Art und Weise des Übergangs ist nirgends die Rede.

Herr Helm setzt an Stelle dieses Satzes einen ganz anderen, der nur äußere Ähnlichkeit damit hat. In Formel (4) schreibt er

$$dQ \text{ für } TdS,$$

setzt also

(5) $$dE = dQ + \Sigma JdM,$$

was im Sinne der Gibbsschen Methode nur erlaubt wäre, wenn $dQ = TdS$ ist. Beim Übergange von einem Gleichgewichtszustande zu einem anderen ist für einen nicht umkehrbaren Vorgang

(6) $$\int \frac{dQ}{T} < S_2 - S_1 .$$

Daraus schließt nun Herr Helm, daß auch für eine unendlich kleine nicht umkehrbare Veränderung

$$dQ < TdS$$

und daher nach (5)

(7) $$dE < TdS + \Sigma JdM$$

sein müßte. Die Differenz $S_2 - S_1$ der Ungleichung (6) stellt nach der gewöhnlichen Auffassung den Zuwachs der Entropie beim Übergange von einem Gleichgewichtszustande zu einem anderen dar. Auch die Differentiale der Ungleichung (7) stellen Zuwächse beim Übergange von einem gewissen Zustande 1 zu einem unendlich wenig verschiedenen 2 dar. Es frägt sich nun, ist die Ungleichung (7) so gemeint, daß beide Zustände 1 und 2 Gleichgewichtszustände sind oder nicht? Im 1. Falle ist jeder der beiden Zustände durch die Parameter S und M bestimmt, E ist eine gegebene Funktion dieser Parameter, deren Differentiation mit Notwendigkeit die Gleichung

$$dE = TdS + \Sigma JdM$$

liefert. Dann ist also das Ungleichheitszeichen in (7) ausgeschlossen, es mag der Übergang vom Zustande 1 in den Zustand 2 umkehrbar oder nicht geschehen.

Ist aber der Zustand 1 oder 2 oder beide kein Gleichgewichtszustand, dann gilt schon die zum Beweise benutzte Ungleichung (6) nicht mehr. Überhaupt läßt sich dann für den betreffenden Zustand der Wert von S (oft auch von J und M) nicht mehr angeben, und die Ungleichung (7) verliert daher ihre Bedeutung.

Dies dürfte am besten an einem Beispiele klar werden. Ein Gas vergrößere in umkehrbarer Weise sein Volum um dv; dann ist

$$dQ = TdS = c_v dT + pdv,$$
$$dE = c_v dT = TdS - pdv.$$

Ein anderes mal werde das Gas, das sich ursprünglich in demselben Anfangszustande (dem Zustande 1) befand, plötzlich mit einem Vakuum dv in Verbindung gesetzt und ströme ohne Widerstand in dasselbe ein, endlich komme es ins Gleichgewicht (Zustand 2). Alle Vorgänge sollen adiabatisch stattfinden, dann ist

$$dQ = dT = dE = 0,$$

aber

$$dS = dl(T^{c_v} v^R) = \frac{Rdv}{v},$$

daher wieder

$$dE = TdS - pdv.$$

R ist die Gaskonstante, c_v die spezifische Wärme bei konstantem Volumen. Ist daher der Zustand 2 der stationäre Endzustand, so gilt das Gleichheitszeichen, ob der Übergang umkehrbar oder nicht sattfindet.

Versteht man aber unter dem Zustande 2 einen Zustand fehlendes Gleichgewichtes, der zwischen dem Anfangs- und Endzustande in der Mitte liegt, was ist dann unter den Buchstaben S und p der Ungleichung (7) zu verstehen? Ist unter TdS und pdv die Summe aller für jedes Volumenelement gebildeten Produkte, ist unter dE der gesamte Energiezuwachs aller Volumenelemente mit Ein- oder Ausschluß der kinetischen Energie zu verstehen? Soll die Ungleichung (7) bloß beim Übergange von einem Gleichgewichtszustande zu einem Zustande fehlenden Gleichgewichts gelten? Eine Angabe hierüber findet sich bei Herrn Helm nicht. Soviel ist sicher, daß die Ungleichung (7) nicht beim Übergange von einem beliebigen Zwischenzustande (3) zu einem beliebigen andern (4) gelten kann; denn da für den Übergang von dem Anfangsgleichgewichtszustande zu dem Endzustande, der wieder Gleichgewichtszustand ist, die Gleichung

(8) $$dE - TdS + pdv = 0$$

besteht, so kann die in dieser Gleichung linkerhand stehende Größe beim Übergang von einem beliebigen Zwischenzustand (3) zu einem beliebigen späteren (4) unmöglich immer negativ sein. Es müßte sonst auch die Summe aller dieser Größen, also der Wert, der sich für den Ausdruck (8) beim Übergang vom stationären Anfangszustande zum stationären Endzustande ergibt, negativ sein.

Es ist wieder die Gibbssche Ausdrucksweise vollkommen klar, die neuere aber nur eine Verschlechterung, die schon zu zahlreichen Mißverständnissen geführt hat,, wie die Behauptung des Herrn Helm[1]), daß für einen Kreisprozeß die Entropie eines Körpers zugenommen haben könne. Diese Behauptung zog er, wie ich glaube, selbst in seinem Vortrage in Lübeck zurück, auf dessen Einzelheiten ich hier nicht eingehen kann, da ich dieselben beim mündlichen Vortrage nicht verstand und dieser noch nicht gedruckt vorliegt.

1) Helm, Wied. Ann. Beilage zu Heft 6. p. IX. 1895.

§ 15. Ich bemerke bei dieser Gelegenheit, daß es eine große Täuschung wäre, zu glauben, das, was Herr Helm [1]) in seiner mathematischen Chemie S. 43 ausführt, sei das bekannte Gibbssche Theorem, daß bei konstanter Energie und bei konstantem Volumen die Summe der Entropien aller ein System bildenden Körper stets zunehmen, bei konstantem Volumen und konstanter Entropie daher die Energie abnehmen muß; denn Gibbs wendet dieses Theorem an auf den Übergang von einem Zustande, in dem sich jeder Körper des Systems für sich in einem Gleichgewichtszustande befindet, in einen unendlich nahen anderen derartigen Zustand. Es ist also für jeden Körper E eine gegebene Funktion von S, v und den anderen Parametern M. Ebenso ist dE eine gegebene Funkttion dieser Variabeln und deren Differenziale. Aus dem obigen Satze wird dann geschlossen, daß

$$\sum \sum \frac{\partial E}{\partial M} dM \geqq 0$$

sein muß bei konstantem S und v.

In dem Falle, den Herr Helm betrachtet, existieren aber außer S und v gar keine Parameter. Wendet man hierauf den Gibbsschen Satz an, so muß E, da es eine Funktion von S und v ist, sobald S und v konstant sind, ebenfalls konstant sein. Daß dann $dE < 0$ wäre, hätte nach Gibbs keinen Sinn. Der Satz, den Herr Helm ausspricht, bezieht sich daher auf ganz etwas anderes. Er setzt nicht bloß voraus, daß der Übergang auf nicht umkehrbarem Wege geschieht; denn wenn Anfangszustand und Endzustand Gleichgewichtszustände wären, so müßte noch immer E eine gegebene Funktion von S und v sein und daher bei gleichem Werte der letzteren Variabeln auch E denselben Wert haben; sondern Herrn Helms Satz fordert, daß entweder der Anfangszustand oder der Endzustand oder beide selbst nicht Gleichgewichtszustände sind. Da ich aber für diesen Fall den Wert von S nicht kenne, so wäre eine nähere Erläuterung Herrn Helms, in welchem Sinn sein Satz gemeint ist, sehr wünschenswert, ob er beim Übergang von einem Gleichgewichtszustande zu einem Zustande fehlen-

1) Helm, Mathemat. Chem. p. 43. Leipzig, W. Engelmann, 1894.

den Gleichgewichts oder für einen umgekehrten Übergang gelte (denn für beide Arten von Übergängen kann er unmöglich gelten), endlich, ob sich daraus ähnliche Konsequenzen wie aus dem Gibbsschen Satze ziehen lassen.

Es ist eine Tatsache, daß bei Veränderungen, die von der Umkehrbarkeit nicht sehr bedeutend abweichen, noch jedem Volumenelemente nahezu eine angebbare Temperatur, ein angebbarer Druck[1]) usw. zugeschrieben werden kann, daß man daher an eine Anwendung der Sätze der Energetik auf die einzelnen Volumenelemente statt auf die Körper als Ganzes in diesem Falle denken kann. Daß dies aber bei sehr turbulenten Vorgängen auch noch möglich sei, ist eine vorläufig völlig unbewiesene Hypothese. Viele Umstände weisen sogar darauf hin, daß die Unterscheidung zwischen qualitativ verschiedenen Energiearten ein nur für nahe stationäre Zustände empfehlenswertes Einteilungsprinzip ist, das bei sehr turbulenter Bewegung versagt, da dann bei gewissen Energiebeträgen nicht mehr unterschieden werden kann, ob sie als kinetische oder Wärmeenergie usw. aufzufassen sind. Dann wäre die Beschreibung der bei turbulenter Bewegung stattfindenden Wärmeleitung, Diffusion, Wärmeerzeugung durch innere Reibung, die Vorgänge der Explosion usw. durch die Formeln der heutigen Energetik von vornherein ausgeschlossen. Diese wären nur Grenzfälle, denen sich die Gesetze für nahe stationäre Bewegung assymptotisch nähern.

§ 16. Es scheint mir auch nicht zutreffend, wenn Herr Ostwald (Lehrbuch p. 472) den zweiten Hauptsatz mit dem Satze identifiziert, daß, wenn zwei Intensitäten einer dritten gleich sind, sie untereinander gleich sein müssen (Satz a). Aus dem zweiten Hauptsatze folgt zwar dieser Satz a für die Temperatur dreier direkt miteinander in Verbindung stehender Körper. Aber letzterer Satz ist viel spezieller als der zweite Hauptsatz, welcher zudem besagt, daß auch durch beliebige Kreisprozesse mit neuen Körpern, wobei vorübergehend andere Energien entstehen, durch Konzentration der

---

1) Freilich nicht mehr eine bestimmte Volumenergie, da der Druck nicht mehr genau senkrecht auf der gedrückten Fläche steht. Noch weniger können die elastischen Kräfte in einem festen Körper durch Volumenergie allein charakterisiert werden. Da mußte an Stelle derselben eine Deformationsenergie treten.

Wärmestrahlung durch Linsen usw. nicht Wärme von dem einen zum andern Körper ohne irgend eine Kompensation übergeführt werden kann. Ja in seiner allgemeinsten Fassung sagt der zweite Hauptsatz sogar aus, daß beliebige auch turbulente Vorgänge sich nur immer in einem bestimmten Sinne abspielen.

Umgekehrt folgt wieder aus dem Satze *a* keineswegs allgemein, daß eine fortwährend abwechselnde Umwandlung einer Energieform in eine andere und hernach wieder umgekehrt unmöglich sei. Eine solche kommt ja schon beim schwingenden Pendel vor, und daß dieses immer Bewegungshindernisse findet, folgt offenbar keineswegs aus dem Satze *a*.

Einen anderen verdächtigen Umstand will ich an einem Beispiele erörtern. Es seien in einer in sich zurücklaufenden Röhre von überall gleichem Querschnitte drei Gase A, B, C vorhanden, welche voneinander durch drei bewegliche Stempel getrennt sind. Nehmen wir an, daß das Gas A denselben Druck wie das Gas B und auch wie das Gas C hätte, aber daß daraus nicht folgen würde, daß auch B und C denselben Druck haben. Es wäre z. B. der Druck von B größer als der von C. Alle Drucke zusammen würden dann eine resultierende Kraft liefern, welche das System aller drei Gase mit allen drei Stempeln in der Röhre im Kreise herumtreiben würde, was offenbar ein perpetuum mobile erster Art wäre, also dem ersten, nicht dem zweiten Hauptsatze widerspräche. Es kann daher nicht richtig sein, wenn Herr **Ostwald** p. 474 behauptet, der Druck spiele bei der Volumenenergie die gleiche Rolle, wie die Temperatur bei der Wärmemenge.

Durchaus nicht einverstanden bin ich auch damit, wenn Herr **Ostwald** die Dissipation der Energie ganz auf Rechnung der strahlenden Energie setzt. Der Kürze halber will ich hierauf, sowie auf die Verhältnisse der Energetik zur Elektrizitätslehre und verschiedene andere Punkte nicht weiter eingehen, gewiß nicht deshalb, weil ich dagegen weniger zu sagen hatte.

III. Über Herrn Ostwalds Vortrag über den wissenschaftlichen Materialismus.

§ 17. Nun noch einige Worte über den Vortrag, den Herr **Ostwald** in der letzten allgemeinen Sitzung zu Lübeck

gegen den wissenschaftlichen Materialismus hielt, mögen mir gestattet sein. Derselbe ist freilich der Hauptsache nach an ein größeres Publikum gerichtet; er arbeitet mehr mit Gleichnissen und allgemeinen Betrachtungen, auf welche hier einzugehen sich von selbst verbietet, da sie, wenn auch noch so glänzend dargestellt, weder beweisen noch widerlegen. Allein manchem ist doch mit so hervorragender Beredsamkeit der Schein strenger Logik verliehen, daß ich ein näheres Eingehen wenigstens auf einzelne Punkte dieses Vortrages hier für gerechtfertigt halte.

Ich glaube dies um so mehr tun zu sollen, als bereits mehrfach junge Leute sich dem mühelosere Ernte versprechenden Gebiete der Energetik zuwenden, welche die zu einer erfolgreichen Tätigkeit auf dem Gebiete der theoretischen Physik nötige mathematische Kritik nicht besitzen.

§ 18. Wenn Herr Ostwald dagegen ankämpft, daß heute jedermann die Atome und Kräfte sich als die letzten Realitäten denke, daß man die Erreichbarkeit des Ideals der Laplaceschen Weltformel für gewiß, den Beweis dafür für erbracht halte, kämpft er gegen eine durchaus nicht mehr vorhandene Anschauung an. Die Kraft hält wohl kaum irgend jemand mehr für eine Realität; niemand behauptet, daß der Beweis erbracht worden sei, daß sich die Gesamtheit der Naturerscheinungen unzweifelhaft mechanisch erklären lasse. Läßt sich aber die Gesamtheit nicht erklären, so gilt dies auch von keinem einzelnen Erscheinungsgebiete in allen damit zusammenhängenden Gebieten und Beziehungen, da jedes mit allen anderen zusammenhängt. Ich selbst habe einmal eine Lanze für die mechanische Naturanschauung gebrochen, aber nur in dem Sinne, daß sie ein kolossaler Fortschritt gegenüber der früheren rein mystischen ist. Dagegen war die Ansicht, daß es keine andere Naturerklärung geben könne, als die aus der Bewegung materieller Punkte, deren Gesetze durch Zentralkräfte bestimmt sind, schon vor Herr Ostwalds Ausführungen längst fast allgemein verlassen.

Wir sind heute viel vorsichtiger; diese Vorstellung ist uns nur ein Bild, das wir nicht anbeten, das möglicherweise der Vollendung fähig ist, möglicherweise aber auch einst ganz zu verlassen sein wird. Heute aber ist es uns jedenfalls

noch von dem größten Werte, als das einzig konsequent durchgeführte in vielen wichtigen Zügen mit der Erfahrung übereinstimmende Bild, das wir besitzen.

Die präzise Beschreibung der Naturerscheinungen möglichst unabhängig von allen Hypothesen, hält man heute allgemein für das allerwichtigste. Ich zitiere da nur Maxwells Abhandlung[1]) über Faradays Kraftlinien aus dem Jahre 1856, wo auch schon die verschiedenen optischen Hypothesen ganz im Ostwaldschen Sinne gewürdigt werden, ferner die Einleitung zu Hertz Buch „über die Ausbreitung der elektrischen Kraft“ aus dem Jahre 1892, endlich die Rede, mit welcher der englische Premierminister Lord Salisbury die Oxforder Versammlung der British Association 1894 eröffnete. Auch die Gastheorie betrachtet schon lange nicht mehr die Moleküle ausschließlich als Aggregate materieller Punkte, sondern als unbekannte, durch generalisierte Koordinaten bestimmte Systeme.

Darin also, daß der Weiterbildung jeder Ansicht freier Spielraum zu gewähren sei, sind wir einig. Dagegen scheint mir alles, womit Herr Ostwald zu beweisen sucht, daß die Anschauungen der alten theoretischen Physik unhaltbar oder gar, daß ihnen die der Energetik schon heute vorzuziehen seien, unbegründet.

Es sagt im allgemeinen, daß die heute üblichen Methoden der theoretischen Physik viele Lücken aufweisen und noch weit davon entfernt sind, eine konsequente, vollkommen klare Beschreibung aller Naturerscheinungen zu liefern. Nun weist aber die Energetik noch viel größere Lücken auf, ihre Beschreibung der Naturerscheinungen ist noch viel unklarer. Daraus schließt er nicht etwa, man solle die Energetik vorläufig weiter gewähren lassen, sondern die gegenwärtigen Anschauungen der theoretischen Physik seien vollständig zu verlassen und durch die der Energetik zu ersetzen. Man solle sich überhaupt kein Bild der Wirklichkeit machen. Aber sind denn alle menschlichen Gedanken etwas anderes als Bilder der Wirklichkeit? Nur von der Gottheit soll und kann man sich kein Bild machen; diese bleibt aber deshalb auch ewig gleich unbegreiflich. Man solle auf jede Anschauung

verzichten; die Gefahr, die darin liegt, haben aber eben alle im Vorhergehenden gerügten Fehlschlüsse bewiesen.

§ 19. Ich will mich nun nicht mehr mit philosophischen Allgemeinheiten beschäftigen, wie mit der Frage, ob wir den Stock fühlen oder dessen Energie oder Schwingungen unserer Nerven oder des Zentralorgans oder etwas, was hinter all dem liegt, oder ob ein Gläubiger zufrieden sein wird, wenn wir ihn statt mit materiellem Gelde mit gesprochener oder tätlicher Energie bezahlen. Ebensowenig frage ich, ob, wie Herr Ostwald meint, die wirkliche Welt ein Spezialfall aller möglichen, oder ob letztere nur phantastische Kombinationen des Wirklichen in etwas veränderter Anordnung sind. Auch der Schwierigkeiten, welche sich bei der Annahme einer kinetischen Energie ohne allen Träger derselben faktisch ergeben, habe ich schon in § 6 gedacht. Ich will daher jetzt nur noch nachsehen, wo sich unter den Argumenten, womit Herr Ostwald zu beweisen sucht, daß die mechanische Weltanschauung mit unzweifelhaften und allgemein erkannten Wahrheiten in Widerspruch steht, etwas sachlich Greifbares findet, und dieses dann bruchstückweise, wie ich es gerade finde, auf seine Richtigkeit prüfen.

§ 20. Daß sowohl Eisen als auch Sauerstoff aus winzig kleinen Teilchen von gänzlich unbekannter Natur bestehen, durch deren innige Mischung (Paarung) das Eisenoxydul entsteht, wurde seit jeher als eine Hypothese bezeichnet. Ihre Annahme ist imstande, uns vollständig begreiflich zu machen, daß das Gemisch eine so bedeutend andere Wirkung auf unsere Sinne ausübt und wiederum in seine Bestandteile zerlegt werden kann. Durch das Wort Hypothese ist aber schon ausgedrückt, daß diese Annahme über die beobachtete Tatsache des fast sprungweisen Wechsels der Eigenschaften hinausgeht und daß die Möglichkeit einer ganz anderen Erklärung, oder, wenn man will, einer noch einfacheren und übersichtlicheren Beschreibung dieses Wechsels nicht ausgeschlossen ist. Dabei bleibt aber umgekehrt die Möglichkeit bestehen, daß sich noch zahlreiche Konsequenzen der alten Hypothese bestätigen, daß wir dadurch eine etwas klarere Vorstellung erhalten, wie wir uns die Atome zu denken haben und daher noch lange (ob für immer, bleibt eben unentschieden) die Beibehaltung dieser Hypothese mindestens neben der

bloßen Beschreibung der Gesetze der Vorgänge höchst nützlich ist.

Man muß durch die neuen erkenntnistheoretischen Dogmen ganz befangen sein, um zu behaupten, obige Hypothese zur Erklärung der chemischen Verbindungen sei von einem reinen Nonsens nicht weit entfernt. Weil die sinnfälligen Eigenschaften das einzige uns direkt Zugängliche seien, sei es absurd, zu behaupten, daß eine innige Mischung nicht auch andere sinnfällige Eigenschaften haben könne, als die Bestandteile. Hat doch schon in einem Brei das Wasser und das verwendete Pulver vieles von den sinnfälligen Eigenschaften verloren und doch sind die Teilchen des letzteren mit dem Mikroskop noch sichtbar. Beim Eisenoxydul ist die Hypothese, daß eine Mischung vorliege, natürlich viel weniger sicher, als beim Brei; die Möglichkeit, daß erstere Hypothese einmal durch eine andere verdrängt werden wird, soll zugegeben werden; aber daß sie, wenn richtig verstanden, ein Unsinn sei, das zu behaupten, ist ein Unding.

gen auf etwas, das wir nicht wahrnehmen, Schlüsse zu ziehen, zugeben, die wir freilich immer zu korrigieren haben, sobald sie mit Wahrnehmungen in Widerspruch kommen. So schließt jeder auf das Vorhandensein anderer Personen außer ihm. Betrachten wir ein anderes Beispiel. Ich halte führ wahrscheinlich, daß auf dem Mars Meere, Festlande, Schnee existieren, sogar, daß, um andere Fixsterne sich Planeten ähnlich der Erde drehen, daß unter denselben wohl noch der eine oder andere mit Lebewesen, die uns ähnlich, aber auch in manchem von uns verschieden sind, bevölkert ist. Wollte man mit Herrn Ostwald schließen, so müßte man sagen: Ich habe keine Aussicht, je davon etwas wahrzunehmen, ja, die ganze Menschheit hat keine Aussicht, von Lebewesen, die die Planeten eines anderen Fixsternes bevölkern, etwas wahrzunehmen. Nun existieren aber bloß unsere Wahrnehmungen, daher können auf den Planeten eines anderen Fixsternes keine Lebewesen existieren.

§ 21. Herr Ostwald schließt aus dem Umstande, daß man in den mechanischen Differentialgleichungen, ohne sie sonst zu ändern, das Vorzeichen der Zeit umkehren kann, daß die mechanische Weltauffassung nicht erklären könne, warum in der Natur die Vorgänge sich immer mit Vorliebe in einem bestimmten Sinne abspielen. Dabei scheint mir übersehen zu sein, daß die mechanischen Vorgänge nicht bloß durch die Differentialgleichungen, sondern auch durch die Anfangsbedingungen bestimmt sind. Im direkten Gegensatz zu Herrn Ostwald habe ich es als eine der glänzendsten Bestätigungen der mechanischen Naturanschauung bezeichnet, daß dieselbe ein außerordentlich gutes Bild von der Dissipation der Energie liefert, sobald man annimmt, daß die Welt von einem Anfangszustande ausging, der bestimmte Bedingungen erfüllt, und den ich dort als einen unwahrscheinlichen Zustand bezeichnete.[1]) Hier kann ich nur von der dabei zugrunde liegenden Idee durch ein ganz einfaches Beispiel einen Begriff zu geben suchen. In der Trommel, aus welcher beim Lottospiel die Nummern gezogen und in welcher dieselben gemischt werden, sollen zweierlei Kugeln (weiße und schwarze) ursprüng-

---

1) Vgl. mein Buch „Über Gastheorie" §§ 8 nnd 19 (J. A. Barth, Leipzig 1896).

lich geordnet liegen, z. B. oben die weißen, unten die schwarzen. Nun soll durch irgend eine Maschine die Trommel beliebig lange gedreht werden. Niemand wird zweifeln, daß wir es im Verlaufe dieser Drehung mit einem lediglich mechanischen Vorgange zu tun haben und doch werden dabei die Kugeln immer mehr gemischt werden, d. h., es wird immer die Tendenz bestehen, daß ihre Verteilung sich in einem bestimmten Sinne (der vollständigen Mischung zueilend) ändert. Gerade so wird die Welt, wenn sie von einem Zustande ausging, in welchem die Anordnung der Atome und ihrer Geschwindigkeiten gewisse Regelmäßigkeiten zeigte, durch die mechanischen Kräfte mit Vorliebe solche Veränderungen erfahren, wobei diese Regelmäßigkeiten zerstört werden. Wie diese Regelmäßigkeiten entstanden sind, kommt hierbei natürlich ebensowenig in Frage, als wie die Atome und die Bewegungsgesetze derselben entstanden sind.

§ 22. Herr Ostwald würde gewiß nicht behaupten, daß der Druck keine gerichtete Größe sei, wenn er berücksichtigte, daß bei jeder Bewegung eines Gases im allgemeinen Gasreibung auftritt. Bei derselben ist aber der Druck nicht mehr nach allen Richtungen gleich und nicht mehr senkrecht auf der gedrückten Fläche; er ist ein mit der Richtung der Normalen zu dieser Fläche nicht zusammenfallender Vektor, dessen Lage durch besondere Richtungskosinus bestimmt werden muß. Gerade diese Verhältnisse werden durch die Gastheorie sehr gut erklärt.

§ 23. Auch wer die Möglichkeit einer mechanischen Naturerklärung nicht leugnet, wird diese doch für ein äußerst schwieriges Problem halten, ja für eines der schwierigsten, welche es für den menschlichen Geist überhaupt gibt. Daß daher viele Versuche, dieses Problem zu lösen, mißglückt sind, wird niemanden wundern. So sind die Emanationstheorie des Lichtes, die Theorie des Wärmestoffes und der elektrischen und tes, die Theorie des Wärmestoffes und der elektrischen und magnetischen Fluida, von denen die letztere im Weberschen Gesetze gipfelte, zwar zur Versinnlichung gewisser Gesetze noch immer nützlich, doch sind sie als Hypothesen ein überwundener Standpunkt. Aber man kann doch keineswegs sagen, daß jede mechanische Hypothese abgewirtschaftet ha
Zu den uralten mechanischen Theorien sind auch die mech

nische Theorie des Schalles, die Hypothese, daß die Sterne riesige, Millionen von Meilen weit entfernte Körper, viel größer als die Erde sind, und viele ähnliche Anschauungen zu zählen, welche ja auch ursprünglich Hypothesen waren und erst mit der Zeit allmählich fast bis zur Gewißheit sich bestätigten. Wenn wir alle Hypothesen, die zur Gewißheit wurden, nicht mitzählen und an alle zweifelhaften nicht glauben, so dürfen wir uns freilich nicht wundern, wenn nichts mehr übrig bleibt. Aber auch abgesehen hiervon sind die gewissermaßen von Demokrit datierende Atomtheorie, die von Bernoulli und Rumford stammende spezielle mechanische Wärmetheorie, die mechanischen Bilder der Chemie, Kristallographie, Elektrolyse usw. noch heute in Ansehen und in steter Entwickelung begriffen, ja selbst die Undulationstheorie des Lichtes ist durch die elektromagnetische Lichttheorie keineswegs einfach beseitigt, wenn sie auch sicher bedeutender Veränderungen bedarf. Denn, wenn die Erklärung der Elektrizität vom Standpunkte der heutigen oder wohl auch einer weiter entwickelten Mechanik gelingen sollte, wovon die Möglichkeit nicht erwiesen, aber auch nicht widerlegt ist, so können ganz gut die rasch wechselnden dielektrischen Polarisationen, welche nach der elektromagnetischen Lichttheorie das Wesen des Lichtes bilden, wieder mit einem Hin- und Herschwingen von Teilchen identisch werden. Wir haben also hier Erfolge, denen alle philosophischen Naturanschauungen von Hegel bis Ostwald einfach nichts entgegenzusetzen haben.

§ 24. Ich komme zum Schlusse. Es ist in erster Linie eine möglichst hypothesenfreie Naturbeschreibung anzustreben; dies geschieht am klarsten in der von Kirchhoff, Clausius (in seiner allgemeinen Wärmetheorie), v. Helmholtz, Gibbs, Hertz usw. ausgebildeten Form. Die Ausdrucksweise der Energetik hat sich hierzu bisher wenig geeignet erwiesen. Ebenso muß der pädagogische Wert der Energetik wenigstens in ihrer heutigen Form bestritten werden, ja ihre Weiterentwickelung in dieser Form wäre geradezu für die präzise Naturauffassung verhängnisvoll. So enthält z. B. der allgemeine Teil eines großen Lehrbuchs der Chemie infolge des Vorherrschens der energetischen Ausdrucksweise zahlreiche Stellen, welche auf den Studierenden verwirrend wirken müssen.

Neben dieser allgemeinen theoretischen Physik sind die Bilder der mechanischen Physik sowohl um neues zu finden, als auch um die Ideen zu ordnen, übersichtlich darzustellen und im Gedächtnis zu behalten, äußerst nützlich und noch heute fortzupflegen. Die Möglichkeit einer mechanischen Erklärung der ganzen Natur ist nicht bewiesen, ja, daß wir dieses Ziel vollkommen erreichen werden, kaum denkbar. Doch ist ebensowenig bewiesen, daß wir darin nicht noch vielleicht große Fortschritte machen werden, und daraus noch vielfachen neuen Nutzen ziehen können. Niemand kann weiter davon entfernt sein, als die Vertreter der heutigen theoretischen Physik, zu behaupten, daß man sicher wisse, daß die in derselben herausgebildeten Denkformen sich ewig als die passendsten erweisen werden. Niemand kann weiter davon entfernt sein, Versuchen andere Denkformen auszubilden, etwas in den Weg stellen oder sie von vornherein als verfehlt erklären zu wollen. Doch dürfen dieselben auch nicht, bevor sie wirkliche Erfolge erreicht haben, polemisch gegen die altbewährten Denkformen auftreten oder diese gar als nur wenig verschieden vom völligen Unsinn bezeichnen. Die Ausdrucksweise der allgemeinen theoretischen Physik ist vielmehr heute noch die zweckmäßigste und praktischste, die uralten Bilder der mechanischen Physik sind noch keineswegs überflüssig. Niemand weiß, ob dies immer der Fall sein wird, doch wäre es völlig müßig, sich über die Frage, welche Denkformen nach Jahrhunderten die zweckmäßigsten sein werden, schon heute den Kopf zu zerbrechen. In diesem Sinne bin ich auch weit entfernt, die Möglichkeit zu leugnen, daß die Weiterentwickelung der Energetik für die Wissenschaft noch von größtem Nutzen sein wird. Nur darf dieselbe nicht so geschehen, wie es in neuester Zeit von einigen Forschern versucht wurde, die sich (nach meiner Meinung nicht mit Recht) für Nachfolger Galileis halten.

Wien, den 2. November 1895.

—

9.

Zur Energetik.[1])

Eine Diskussion, wie die vorliegende über Energetik, wird nicht in der Erwartung unternommen, daß der eine Recht, der andere Unrecht behalte, sondern in der Absicht, daß die Ansichten aller aufgeklärt werden. Daher kann ich, was die Beziehungen der Energetik zur Mechanik anbelangt, mit dem Erfolge zufrieden sein. Der letzte Aufsatz Herrn Helms[2]) scheint alles vollkommen klar zu legen.

Die Herren Planck und Helm haben (wie sich nun herausstellt gleichzeitig) gezeigt, daß sich die gewöhnlichen Bewegungsgleichungen für ein System materieller Punkte aus dem Energieprinzipe unter der Annahme gewinnen lassen, daß dieses für jeden der Punkte in jeder Koordinatenrichtung oder nach Herrn Helm überhaupt für jede willkürliche Richtung separat gilt.

Dagegen gewinnt Herr Helm schon die Lagrangeschen Gleichungen und daher auch die ganze übrige Mechanik durch Transformation der rechtwinkligen Koordinaten materieller Punkte und der auf diese wirkenden Kräfte, was also die Voraussetzung involviert, daß die Körper Systeme materieller Punkte seien. Diese Voraussetzung aber versetzt uns offenbar wieder ganz auf den Boden der alten Atomistik. Aus ihr folgt in bekannter Weise, daß bei langdauernder Bewegung unter dem Einflusse von Kräften, welche nicht auf alle materiellen Punkte gleichmäßig wirken, unregelmäßige Bewegungen der materiellen Punkte gegeneinander entstehen müssen[3]), welche

---

1) Aus den Annalen der Physik u. Chemie. N. F. Bd. 58. S. 595.

2) Helm, Wied. Ann. 57. p. 646. 1896.

3) Folgt nicht selbst unter Annahme kontinuierlicher Raumerfüllung aus den Gleichungen der Elastizitätslehre, daß analoge, unregelmäßig

immer einen Teil der sichtbaren lebendigen Kraft verschlucken, daß bei genügend heftiger Bewegung der materiellen Punkte diese aneinander vorbeikriechen, wodurch der Körper verflüssigt wird, sowie daß sich Teilchen von der Oberfläche loslösen müssen, wodurch der Körper verdampft.

Diese atomistischen Hypothesen erkennen übrigens auch den Energiebegriff als einen der wichtigsten an, ja, sie ließen sich, wenn man will, unter passenden Nebenannahmen auch aus dem Energiebegriffe gewinnen. Wenn jedoch die Energetik derartige Hypothesen als zu wenig verbürgt nicht anerkennen will, so müßte sie einen ganz anderen Weg einschlagen.

Wie aus der Annahme, daß die lebendige Kraft der Bewegung das primär Gegebene, das Bewegliche selbst aber ein erst daraus abgeleiteter Begriff sei, eine Mechanik konstruiert werden könne, vermag ich mir gegenwärtig noch nicht vorzustellen. Bequemt sich dagegen die Energetik, vom Massenbegriffe auszugehen, so hätte sie, um der Atomhypothese zu entgehen, anzunehmen, daß die Materie ihren Raum kontinuierlich erfüllt. Aus dem Energieprinzip wären dann durch Zuziehung passender Hilfshypothesen zunächst die Bewegungsgleichungen für starre Körper zu gewinnen, etwa durch Ableitung der Lagrangeschen Gleichungen ohne den Umweg über die Koordinaten der einzelnen Punkte, aus denen der Körper besteht, und über die Kräfte, welche auf diese Punkte wirken. Durch neue Hilfshypothesen müßten aus den Formeln für die elastische und hydrodynamische Energie die betreffenden Gleichungen abgeleitet werden. Alle diese Ableitungen dürften möglich, ja sogar, je nachdem man diese oder jene Hilfshypothese beizieht, auf verschiedene Weise möglich sein, und mir schiene der Versuch derartiger Ableitungen für die Wissenschaft nützlich.

Schwieriger dürfte es sein, vom Standpunkte der reinen Energetik eine Übersicht über alle Fälle, wo mechanische Energie in Wärme verwandelt wird, über die Erscheinungen des Schmelzens und Verdampfens, über die Eigenschaften der Gase und Dämpfe usw. zu geben, während gerade diese

zitternde Bewegungen der Volumenelemente entstehen müssen, welche dann die naheliegendste Erklärung der Verwandlung elastischer Schwingungen in Wärme bieten?

Phänomene durch die Molekulartheorie und die spezielle m chanische Wärmetheorie so verständlich werden.

Die Energetik scheint noch weit davon entfernt zu sei alle hier skizzierten Aufgaben gelöst zu haben. Man könn sich offenbar erst, wenn dies geschehen wäre, ein Urteil üb die Anschaulichkeit der Hilfshypothesen, deren die Energet bedarf, bilden und diese auf dem ganzen Gebiete der Mechan mit der Molekulartheorie vergleichen.

Auch der von mir ursprünglich gerügten wärmetheore schen Gleichung hat Herr Helm nunmehr eine klare B deutung gegeben, da er festsetzt, daß darin J nicht die i... Körper selbst geltende (innere) Intensität, sondern die Intensität der äußeren Gegenwirkung ist, wodurch der Satz, wenigstens wenn J den Druck darstellt, klar und verständlich wird. Freilich glaube ich, daß in Verbindung hiermit noch manche andere Ausführungen Herrn Helms präziser gefaßt werden müßten; denn wo immer Herr Helm den in Rede stehenden Satz anwendet[1]), scheint es mir, als ob er im Widerspruche mit seiner jetzigen Festsetzung unter J wieder die innere im Körper herrschende Intensität verstünde, also doch wieder ausschließlich das Gleichheitszeichen schreiben müßte. Natürlich ist aber dieser Punkt ein ziemlich unwesentlicher, und es wäre erst möglich, festzustellen, was die Energetik den Gibbsschen Lehrsätzen wesentlich Neues hinzugefügt hat, wenn eine klare und einwurfsfreie Darstellung der Wärmetheorie, Chemie und Elektrizitätslehre vom energetischen Standpunkte wenigstens in den ersten Grundzügen gelungen wäre.

Während der Korrektur kommt mir H. Ostwalds Replik (p. 154) zu Gesichte. Danach scheint es, daß derselbe nicht, wie ich früher glaubte, in der Mechanik die Energie als das ursprünglich Gegebene betrachtet und die Masse erst aus gewissen Eigenschaften derselben ableiten will, sondern daß er unter Beibehaltung der Begriffe der alten Mechanik von der Masse ausgeht und die Energie als $\frac{1}{2}mv^2$ definiert. Ob man dann die Masse oder die Energie oder beides oder gar vielleicht keines von beiden, sondern unsre Vorstellungen, als das Existierende (Substantielle) bezeichnet, dürfte, da

1) Helm, Math. Chemie p. 45, 46, 47, 60.

man doch mit allem die alten Vorstellungen verbindet, kaum wesentlicher sein, als ob man dem absoluten Maßsysteme die Massen oder Energieeinheit zugrunde legt. Bezüglich des übrigen Inhalts der Replik glaube ich mich kurz fassen zu können.

Daß H. Ostwald von den Vorzügen seiner Betrachtungsweise persönlich überzeugt ist und sich nicht davon wird abbringen lassen, habe ich nie bezweifelt. Unklar bewußte Impulse bei der Forschung entziehen sich selbstverständlich der Diskussion. Doch dürfte über die der Atomistik vorgeworfene Unfruchtbarkeit wohl auch mancher Chemiker anderer Ansicht sein, der die mögliche Zahl isomerer Verbindungen oder die Eigenschaft die Polarisationsebene zu drehen, direkt aus dem Bilde ableitet, das er sich von der Lagerung der Atome macht. Ich meinerseits erlaube mir, darauf hinzuweisen, daß sich Gibbs bei Begründung seiner Sätze sicher molekulare Vorstellungen machte, wenn er auch die Moleküle nirgends in die Rechnung einführte, daß die Sätze über Energie und Entropie von Gasen, verdünnten Lösungen, namentlich aber von einem Gemische eines in Dissoziation begriffenen Körpers und seiner Bestandteile nur durch die Vorstellung gefunden und begründet wurden, daß die verschiedenen Moleküle räumlich nebeneinander existieren, daß endlich auch die neueste elektrochemische Theorie ihren Ausgangspunkt in der rein molekularen Vorstellung Nernsts von der Lösungstension hatte. Erst später wurden die Sätze von ihrer molekularen Begründung getrennt und als reine Tatsache hingestellt. Der mathematische Teil der Gastheorie aber verfolgt hauptsächlich den Zweck der Weiterentwicklung der mathematischen Methodik, für deren Wertschätzung niemals die sofortige

10.

Über die Unentbehrlichkeit der Atomistik in der Naturwissenschaft.[1])

Außer der Atomistik in ihrer heutigen Form ist noch eine zweite Methode in der theoretischen Physik üblich, nämlich die Darstellung eines möglichst eng begrenzten Tatsachengebietes durch Differentialgleichungen. Wir wollen sie die Phänomenologie auf mathematisch-physikalischer Grundlage nennen. Da dieselbe ein neues Bild der Tatsachen gibt und es selbstverständlich vorteilhaft ist, möglichst viele Bilder zu besitzen, so ist sie natürlich neben der Atomistik in deren heutiger Gestalt von hohem Werte. Eine andere Phänomenologie, welche ich die energetische nennen möchte, wird später zur Sprache kommen. Man hat nun oft die Ansicht ausgesprochen, daß die nach der phänomenologischen Methode erhaltenen Bilder aus inneren Gründen den Vorzug vor denen der Atomistik verdienen.

Ich pflege solchen allgemein philosophischen Fragen aus dem Wege zu gehen, solange sie keine praktischen Konsequenzen haben, da sie nicht so scharf gefaßt werden können wie Spezialfragen, und daher ihre Beantwortung mehr Geschmacksache ist. Doch scheint es mir, als ob gegenwärtig die Atomistik aus dem oben angeführten, kaum stichhaltigen Grunde praktisch zurückgesetzt würde, und da glaubte ich, das Meine tun zu sollen, um den Schaden zu verhüten, der meines Erachtens der Wissenschaft daraus erwachsen könnte, wenn nun die Phänomenologie, wie früher die Atomistik, zum Dogma erhoben würde.

---

1) Aus den Annalen der Physik und Chemie. N. F. Band 60. S. 231.

Um Mißverständnisse zu vermeiden, will ich gleich zu Anfang die Beantwortung ganz bestimmter Fragen als den Zweck der folgenden Betrachtungen bezeichnen. Da der Nutzen, welchen die Atomistik in ihrer Entwickelung der Wissenschaft geleistet hat, von keinem unbefangenen Kenner der Geschichte der Wissenschaft bezweifelt wird, so können wir die Fragen so formulieren: Hat die Atomistik in ihrer gegenwärtigen Form nicht auch hohe Vorzüge vor der heute üblichen Phänomenologie? Ist irgendeine Wahrscheinlichkeit vorhanden, daß sich in absehbarer Zeit aus der Phänomenologie eine Theorie entwickeln könne, welche diese, gerade der Atomistik eigentümlichen Vorzüge ebenfalls besitzt? Besteht nicht neben der Möglichkeit, daß die heutige Atomistik einmal verlassen werden wird, auch die, daß in ihr die Phänomenologie mehr und mehr aufgehen wird? Endlich wäre es nicht ein Schaden für die Wissenschaft, wenn man nicht noch heute die gegenwärtigen Anschauungen der Atomistik mit gleichem Eifer pflegte, wie die der Phänomenologie? Die Beantwortung dieser Fragen in dem der Atomistik günstigen Sinne bezeichne ich schon hier als das Resultat der folgenden Betrachtungen.

Die Differentialgleichungen der mathematisch-physikalischen Phänomenologie sind offenbar nichts als Regeln für die Bildung und Verbindung von Zahlen und geometrischen Begriffen, diese aber sind wieder nichts anderes als Gedankenbilder, aus denen die Erscheinungen vorhergesagt werden können.[1]) Genau dasselbe gilt auch von den Vorstellungen der Atomistik, so daß ich in dieser Beziehung nicht den mindesten Unterschied zu erkennen vermag. Überhaupt scheint mir von einem umfassenden Tatsachengebiete niemals eine direkte Beschreibung, stets nur ein Gedankenbild möglich. Man darf daher nicht mit Ostwald sagen, du sollst dir kein Bild machen, sondern nur, du sollst in dasselbe möglichst wenig Willkürliches aufnehmen.

Die mathematisch-physikalische Phänomenologie verbindet manchesmal die Vorstellung der Gleichungen mit einer gewissen Geringschätzung der Atomistik. Ich glaube

[1]) Vgl. Prinzipien der Wärmelehre, Leipzig, Joh. A. Barth, p. [illegible] von Mach, dessen einschlägige Schriften wesentlich zur Klärung meiner eigenen Weltanschauung beitrugen.

nun, daß die Behauptung, Differentialgleichungen gingen w
niger über die Tatsachen hinaus, als die allgemeinste For
atomistischer Ansichten, auf einem Zirkelschlusse beruh
würde. Wenn man schon von vornherein der Ansicht i
daß unsere Wahrnehmungen durch das Bild eines Kontinuun
dargestellt werden, dann gehen allerdings nicht die Differe
tialgleichungen, wohl aber die Atomistik über die vorgefaß
Ansicht hinaus. Ganz anders, wenn man atomistisch
denken gewohnt ist; dann kehrt sich die Sache um, und d
Vorstellung des Kontinuums scheint über die Tatsachen hi
auszugehen.

Analysieren wir z. B. einmal die Bedeutung der hierbei klassischen Fourierschen Wärmeleitungsgleichung! Dieselbe drückt nichts anderes aus, als eine aus zwei Teilen bestehende Regel:

1. Man denke sich im Innern des Körpers (oder noch allgemeiner regelmäßig angeordnet in einer entsprechend begrenzten dreidimensionalen Mannigfaltigkeit) zahlreiche kleine Dinge (nennen wir sie Elementarkörperchen oder besser Elemente oder Atome im allgemeinsten Sinne), deren jedes zu Anfang eine beliebige Temperatur hat. Nach Verlauf einer sehr kleinen Zeit (bezw. bei einem kleinen Zuwachse einer vierten Variabeln) sei die Temperatur jedes Körperchens das arithmetische Mittel der Temperaturen, welche vorher die dasselbe unmittelbar umgebenden Körperchen hatten.[1]) Nach einer zweiten gleich großen Zeit hat man diesen Prozeß zu wiederholen usw.

2. Man denke sich sowohl die Elementarkörperchen als auch die Zeitteilchen immer kleiner und kleiner, ihre Anzahl im entsprechenden Verhältnisse immer größer und größer und bleibe bei jenen Temperaturwerten stehen, wo die weitere Verkleinerung das Resultat nicht mehr merkbar beeinflußt.

Ebenso können bestimmte Integrale, welche die Lösung der Differentialgleichung darstellen, im allgemeinen nur durch mechanische Quadraturen berechnet werden, erfordern also wieder zuerst eine Zerlegung in eine endliche Zahl von Teilen.

1) Maxwell, Treatise on electricity, 1873, vol. I, art. 29; Mach,

Man glaube doch nicht, daß man sich durch das Wort Kontinuum oder das Hinschreiben einer Differentialgleichung auch einen klaren Begriff des Kontinuums verschafft habe! Bei näherem Zusehen ist die Differentialgleichung nur der Ausdruck dafür, daß man sich zuerst eine endliche Zahl zu denken hat; dies ist die erste Vorbedingung, dann erst muß die Zahl wachsen, bis ihr weiteres Wachstum nicht mehr von Einfluß ist. Was nützt es, die Forderung, sich eine große Zahl von Einzelwesen zu denken, jetzt zu verschweigen, wenn man bei Erklärung der Differentialgleichung den durch dieselbe ausgedrückten Wert durch jene Forderung definiert hat? Man verzeihe den etwas banalen Ausdruck, wenn ich sage, daß derjenige, welcher die Atomistik durch Differentialgleichungen losgeworden zu sein glaubt, den Wald vor Bäumen nicht sieht. Eine Erklärung der Differentialgleichung durch kompliziertere, geometrische oder andere physikalische Begriffe würde aber erst recht die Wärmeleitungsgleichung im Lichte einer Analogie, statt einer direkten Beschreibung erscheinen lassen. Wir vermögen in Wirklichkeit die benachbarten Teile nicht zu unterscheiden. Ein Bild aber, in welchem wir von allem Anfange her die benachbarten Teile nicht unterscheiden, wäre verschwommen; wir könnten daran die vorgeschriebenen Rechnungsoperationen nicht vornehmen.

Erkläre ich also die Differentialgleichung oder eine Formel, welche bestimmte Integrale enthält, für das zweckmäßigste Bild, so gebe ich mich einer Illusion hin, wenn ich glaube, damit die atomistische Vorstellung aus meinem Gedankenbilde entfernt zu haben, ohne welche der Limitenbegriff sinnlos ist; ich mache dann vielmehr bloß die weitere Behauptung, daß, wie sehr auch die Beobachtungsmittel verfeinert werden mögen, niemals Unterschiede zwischen den Tatsachen und den Limitenwerten beobachtbar sein werden.

Geht da nicht das Bild, welches eine sehr große, aber endliche Zahl von Elementarkörperchen voraussetzt, weniger über die Tatsachen hinaus? Hat sich nicht die Sache umgekehrt? Während früher die Annahme einer bestimmten Größe der Atome als eine rohe, willkürlich über die Tatsachen hinausgehende Vorstellung galt, so erscheint sie jetzt gerade als die natürlichere, und die Behauptung, daß niemals Unterschiede zwischen den Tatsachen und den Limiten-

werten entdeckt werden könnten, weil solche bis heute (vielleicht nicht einmal in allen Fällen) noch nicht entdeckt wurden, fügt dem Bilde etwas Neues, Unerwiesenes bei. Warum durch diese hinterher angeflickte Behauptung das Bild klarer, einfacher oder wahrscheinlicher werden sollte, ist mir unbegreiflich.[1]) Die Atomistik scheint vom Begriffe des Kontinuums untrennbar. Offenbar gingen Laplace, Poisson, Cauchy usw. deshalb von atomistischen Betrachtungen aus, weil man sich damals noch klarer bewußt war, daß Differentialgleichungen nur Symbole für atomistische Vorstellungen sind, und daher auch noch lebhafter das Bedürfnis empfand, letztere einfach zu gestalten. Die ersten Formen der Atomistik möchte ich mit den komplizierten Umschweifen vergleichen, welche die alten Physiker machten, statt mit benannten Größen zu rechnen, während die Gewöhnung an die Symbolik der Integralrechnung der an Ausdrücke wie cm. sec^{-1} gleicht. Die dadurch erzielte Bequemlichkeit kann aber zu manchen Fehlschlüssen führen, wenn man die Bedeutung vergißt, die man der Division durch eine Sekunde willkürlich beilegte.

Wie die Wärmeleitungsgleichung, so können auch die Grundgleichungen der Elastizität allgemein nur gelöst werden, indem man sich zuerst eine endliche Zahl von Elementarkörperchen denkt, welche nach gewissen einfachen Gesetzen aufeinander wirken, und dann wieder die Limite bei Vermehrung der Zahl derselben sucht. Diese Limite ist also wieder die eigentliche Definition der Grundgleichungen, und das Bild, welches von vornherein eine große, aber endliche Zahl annimmt, erscheint abermals einfacher.

Wir können so, indem wir den betreffenden Atomen nur gerade so viele Eigenschaften beilegen, als notwendig sind, um ein kleines Tatsachengebiet in der einfachsten Weise zu beschreiben, für jedes solche Tatsachengebiet eine besondere Atomistik erhalten[2]), welche zwar, wie mir scheint, ebenso-

---

1) Die Gesichtswahrnehmungen entsprechen der Erregung einer endlichen Zahl von Nervenfasern, werden also wahrscheinlich durch ein Mosaik besser dargestellt, als durch eine kontinuierliche Fläche. Ähnliches gilt auch von den übrigen Sinnesempfindungen. Ist es da nicht wahrscheinlich, daß auch die Modelle für Komplexe von Wahrnehmungen besser aus diskreten Teilen zusammengesetzt werden?

2) Wenn wir ehrlich sind, so können wir der Behauptung von

wenig als das, was man gewöhnlich Atomistik nennt, eine direkte Beschreibung, aber doch ein von Willkür möglichst freies Bild ist.

Hertz, daß ein gewisses System von Differentialgleichungen seine Theorie der elektromagnetischen Erscheinungen ausmache, nur den Sinn beilegen, daß er sich diese Erscheinungen durch das Bild von zweierlei, den Raum dicht erfüllenden Gedankendingen darstellt, welche beide den Charakter von Vektoren haben, und deren zeitliche Änderung, die sich aber jetzt auf Intensität und Richtung bezieht, wie bei der Wärmeleitung nur durch die unmittelbare Umgebung bedingt ist, aber in komplizierterer, leicht anzugebender Weise davon abhängt. Hierdurch ist eine atomistische Theorie des Elektromagnetismus gegeben, die möglichst wenig Willkürliches enthält. Die Forderung, diesen mechanisch zu erklären, fällt mit dem Bedürfnisse nach Beseitigung der Kompliziertheit dieses Bildes und dessen Inkongruenz mit den in den übrigen Tatsachengebieten verwendeten Bildern zusammen, welche demjenigen freilich nicht auffällt, der bloß den Anblick der Differentialgleichungen vergleicht. Dieser Inkongruenz und der Wahrscheinlichkeit, daß es einfachere Bilder gibt, will man offenbar Ausdruck geben, wenn man sagt, man weiß nicht, was Elektrizität ist. Die Phänomenologie von heute ist also wieder ganz auf den Standpunkt Lemerys (Ostwald, Lehrb. d. allg. Chem. 2. II. 2. Aufl. p. 5 und 103) zurückgekehrt, welcher sich ebenfalls nicht scheute, sobald sich dadurch nur eine Erklärung der ihm bekannten Tatsachen bot, den Atomen die kompliziertesten Eigenschaften beizulegen; nur daß wir dies nicht gewahr werden, weil wir den Kopf in Differentialgleichungen wie der Vogel Strauß ins Gebüsch verstecken.

Die gewöhnlichen Gleichungen der Elastizitätslehre stellen, sobald darin noch die Verschiebungen u, v, w und die elastischen Kräfte X_x, X_y . . . enthalten sind, wenn man sich der Bedeutung des Limitenbegriffes entsinnt, ziemlich komplizierte Regeln für die Veränderung der Koordinaten $x+u$, $y+v$, $z+w$ von gewöhnlichen Punkten und gleichzeitige Änderung von Vektoratomen dar. Auch die durch Elimination der elastischen Kräfte entstehenden Gleichungen bedürfen noch einiger Reduktionen, um das übliche atomistische Bild der elastischen Erscheinungen zu liefern. Um letzteres zu erhalten, hat man also an den Gleichungen oder an den mit den Gleichungen identischen Bildern gewisse Zusammensetzungen und Zerlegungen vorgenommen, gerade wie man in der Mechanik die Kräfte zusammensetzt und zerlegt, um eine möglichst einfache Beschreibung zu erhalten.

Auch die Differentialquotienten nach der Zeit sprechen natürlich die Forderung aus, daß man in dem Bilde der Natur die Zeit zunächst in sehr kleine, endliche Zeitteile (Zeitatome) zerlegt denken muß. Lasse ich also die Vorstellung, daß niemals eine Abweichung von der Limite entdeckt werden könne, der sich das Bild bei immer kleiner werdenden Zeitatomen nähert, als durch die Erfahrung noch nicht erwiesen, fallen, so müßte ich mir vorstellen, daß schon die Gesetze

Die Phänomenologie versucht nun, alle diese speziellen Atomistiken ohne vorhergehende Vereinfachung derselben zu kombinieren, um die wirklichen Tatsachen darzustellen, d. h. ihnen alle in diesen Atomistiken enthaltenen Vorstellungen anzupassen; allein da sie eine Unzahl von Begriffen, die je einem kleinen Erscheinungsgebiete entnommen sind und wenig zueinander passen, sowie eine Unzahl von Differentialgleichungen mitbringt, von denen jede, trotz mannigfaltiger Analogien, doch wieder viele Besonderheiten hat, so ist von vornherein zu erwarten, daß sich die Darstellung sehr kompliziert gestalten muß. In der Tat zeigt sich, daß schon ganz unübersichtliche und enorm komplizierte Gleichungen notwendig sind, wenn die Phänomenologie auch nur das Ineinandergreifen einiger weniger Erscheinungsgebiete bei noch immer nahe stationären Vorgängen darstellen will (elastische Deformation mit Erwärmung und Magnetisierung usw.). Auch muß man (z. B. wenn man die Dissoziation der Gase nach Gibbs, die der Elektrolyte nach Planck darstellen will) doch wieder Hypothetisches, also über die Tatsachen Hinausgehendes einführen.

---

der Mechanik des materiellen Punktes nur angenähert richtig sind. Bloß um eine Ahnung zu geben, wie verschiedenartig die Bilder gewählt werden können, will ich hier ein spezielles Bild erwähnen. Man denkt sich im Raume (besser in einer dreidimensionalen Mannigfaltigkeit) sehr viele sich berührende Kugeln. Die Anordnung derselben wechselt nach einem zu suchenden Gesetze A von einem Zeitatom zum anderen sehr wenig, aber um endliches. Die verschieden gestalteten Lücken zwischen den Kugeln treten an Stelle der Atome des alten Bildes, das Gesetz A ist so zu wählen, daß die zeitliche Änderung der Lücken ein Weltbild liefert. Wäre es möglich, ein solches Bild zu finden, welches umfassendere Übereinstimmung zeigt, als die gewöhnliche Atomistik, so wäre damit auch dessen Berechtigung erwiesen. Die Auffassung der Atome als materieller Punkte und der Kräfte als Funktionen ihrer Entfernung ist also wohl eine provisorische, die aber in Ermangelung einer besseren heute noch beizubehalten ist.

Freilich lehrt die einfachste Überlegung sowie die Erfahrung übereinstimmend, daß es hoffnungslos schwierig ist, durch bloßes Raten ins Blaue hinein gleich auf richtige Weltbilder zu verfallen, daß sich solche vielmehr immer nur langsam aus einzelnen glücklichen Ideen durch Anpassung bilden. Gegen das Treiben der vielen leichtsinnigen Hypothesenschmiede, welche hoffen mit geringer Mühe eine die ganze Natur erklärende Hypothese zu finden, sowie gegen die metaphysische und dogmatische Begründung der Atomistik wendet sich daher die Erkenntnistheorie mit Recht.

Dazu kommt noch der Umstand, daß alle Begriffe der Phänomenologie nahe stationären Erscheinungen entlehnt sind und bei turbulenter Bewegung nicht mehr Stich halten. So können wir die Temperatur eines ruhenden Körpers mittels eines eingesenkten Thermometers definieren. Wenn sich der Körper als Ganzes bewegt, mag sich das Thermometer mitbewegen. Hat aber jedes Volumenelement des Körpers eine verschiedene Bewegung, so wird die Definition gegenstandslos, und es ist wahrscheinlich oder doch möglich, daß sich dann die verschiedenen Energieformen (was Wärme, was sichtbare Bewegung ist usw.) nicht mehr scharf scheiden lassen.

Bedenkt man dies, sowie die Komplikation, welche die phänomenologischen Gleichungen schon in den wenigen Fällen annehmen, wo man das Ineinandergreifen mehrerer Erscheinnungsgebiete darstellte, so wird man eine Ahnung von den Schwierigkeiten erhalten, beliebige turbulente, auch mit chemischen Umsetzungen verbundene Erscheinungen nach dieser Methode zu beschreiben, also ohne vorher die den einzelnen Tatsachengebieten entsprechenden Atomistiken durch freilich willkürliche Vereinfachungen in bessere Übereinstimmung zu bringen. Im Vergleich mit den Eigenschaften, die man zu diesem Zwecke den Elementarkörperchen beilegen müßte, wären Lemery-Moleküle wahre Muster der Einfachheit.

Eine spezielle Phänomenologie, welche ich die energetische (im weitesten Sinne) nennen will, hofft durch weitere Verfolgung des allen Erscheinungsgebieten Gemeinsamen die verschiedenen, den einzelnen Erscheinungsgebieten entsprechenden Atomistiken einander näher zu bringen. Zwei Gattungen solcher gemeinsamer Züge sind bekannt. Der ersten Gattung gehören gewisse allgemeine Sätze an, wie das Energie-, Entropieprinzip usw., ich möchte sagen allgemeine Integralsätze, welche in allen Erscheinungsgebieten gelten. Die zweite Gattung besteht in Analogien, welche sich durch die verschiedensten Erscheinungsgebiete durchziehen können. Die letzteren haben ihren Grund oft nur in der Gleichheit der Form, welche gewisse Gleichungen bei einem gewissen Grade der Annäherung immer annehmen müssen, während in den feineren Details die Analogien oft aufzuhören scheinen.

(Annähernde Proportionalität kleiner Änderungen der Funktion mit denen des Argumentes, Übrigbleiben der ersten oder zweiten Differentialquotienten mit annähernd konstanten Koeffizienten, Linearität bezüglich kleiner Größen und daher Superposition. Auch die Analogien im Verhalten der verschiedenen Energieformen scheinen teilweise solche rein algebraische Gründe zu haben). Allein trotz der enormen Wichtigkeit der Integralsätze (wegen ihrer allgemeinen Gültigkeit und der daraus entspringenden hohen Sicherheit) und der Analogien (wegen der vielfachen Rechnungsvorteile und neuen Gesichtspunkte, welche sie bieten) liefern sowohl die Integralsätze als auch die Analogien doch immer nur einen kleinen Teil des gesamten Tatsachenzusammenhanges, man mußte daher selbst zur genauen Darstellung jedes einzelnen Erscheinungsgebietes noch so viele spezielle Bilder hinzunehmen (Naturgeschichte des betreffenden Erscheinungsgebietes), daß, wie ich andern Orts nachgewiesen zu haben glaube, bisher nicht einmal die eindeutige und umfassende Beschreibung eines einzigen Gebietes stationärer Erscheinungen nach dieser Methode gelang, geschweige denn eine Übersicht aller, sogar auch der turbulenten Phänomene. Die Frage, ob einmal auf diesem Wege umfassende Naturbilder gelingen, hat daher vorläufig nur einen rein akademischen Wert.

Um dem letzteren Ziele näher zu kommen, sucht die heutige Atomistik schon die Fundamente der verschiedenen phänomenologischen Atomistiken einander anzupassen, indem sie die Eigenschaften der für die verschiedenen Tatsachengebiete erforderlichen Atome willkürlich so ergänzt und abändert, daß sie zur gleichzeitigen Darstellung vieler Gebiete taugen.[1]) Sie zerlegt gewissermaßen die Eigenschaften der

1) Obige Darstellung will natürlich nicht sagen, daß die phänomenologischen Gleichungen immer zeitlich den Fortschritten der heutigen Atomistik vorangegangen seien. Die meisten phänomenologischen Gleichungen wurden vielmehr selbst durch Betrachtungen an spezialisierten, einem anderen Erscheinungsgebiete (der Mechanik) entnommenen Atomen gewonnen und erhielten erst später durch Loslösung von diesen Betrachtungen den Charakter phänomenologischer Gleichungen. Dieser Umstand kann uns nicht wundern, da wir erkannt haben, daß der Sinn dieser Gleichungen in Wahrheit immer die Forderung atomistischer Bilder ist, und er wird nur noch mehr zu gunsten der Atomistik sprechen.

für ein einzelnes Tatsachengebiet erforderlichen Atome so in Komponenten (vgl. drei Seiten vorher in der Anmerkung), daß dieselben auf mehrere Tatsachengebiete passen. Dies ist selbstverständlich gerade so, wie die Zerlegung der Kräfte in Komponenten nicht ohne eine gewisse, über die Tatsachen hinausgehende Willkürlichkeit möglich.[1]) Allein sie erreicht dafür den Vorteil, daß sie ein einfaches und übersichtliches Bild einer weit größeren Summe von Tatsachen zu geben vermag.

Während die Phänomenologie schon für die Mechanik der Schwerpunktsbewegungen und der starren Körper, für die Elastizität, Hydrodynamik usw. separate, unter sich wenig zusammenhängende Bilder braucht, ist die heutige Atomistik ein vollkommen zutreffendes Bild aller mechanischen Erscheinungen, und es ist bei der Abgeschlossenheit dieses Gebietes kaum zu erwarten, daß auf demselben noch Erscheinungen entdeckt werden könnten, welche sich nicht in den Rahmen des Bildes fügen. Dieses umfaßt ferner auch die Wärmeerscheinungen. Daß der letzte Umstand nicht so sicher nachgewiesen werden kann, liegt lediglich in der Schwierigkeit,

1) Ein derartiger, dem Bilde der Atome willkürlich beigelegter Zug ist deren Unveränderlichkeit. Der Vorwurf, daß hier eine unberechtigte Verallgemeinerung der beobachteten, nur begrenzte Zeit dauernden Unveränderlichkeit der festen Körper vorliege, wäre sicher gerechtfertigt, sobald man, wie es wohl ehedem geschah, die Unveränderlichkeit der Atome a priori zu beweisen suchte. Wir nehmen sie aber bloß deshalb in unser Bild auf, damit dasselbe den Inbegriff möglichst vieler Erscheinungen darzustellen vermag, wie man den ersten Differentialquotienten nach der Zeit und die zweiten nach den Koordinaten deshalb in die Wärmeleitungsgleichung aufnimmt, damit sie auf die Tatsachen paßt. Wir sind bereit, die Unveränderlichkeit in jenen Fällen fallen zu lassen, wo eine andere Annahme die Erscheinungen besser darstellen würde. So wären in der Tat die fünf Seiten vorher in der Anmerkung erwähnten Vektoratome des Äthers nicht mit der Zeit unveränderlich.

Die Unveränderlichkeit der Atome gehört also zu jenen Vorstellungen, welche sich als sehr brauchbar erwiesen, obwohl die metaphysischen Betrachtungen, durch welche man dazu gelangte, einer vorurteilslosen Kritik nicht standhalten. Gerade wegen dieser vielfachen Brauchbarkeit muß man aber doch eine gewisse Wahrscheinlichkeit, daß sich die sogenannte strahlende Energie durch ähnliche Bilder wie die Materie darstellen lasse (daß der Lichtäther ein Stoff sei), zugeben.

welche die Berechnung der Molekularbewegung bietet. Jedenfalls finden sich alle wesentlichen Tatsachen in den Zügen unseres Bildes wieder. Dieses erwies sich auch zur Darstellung der kristallographischen Tatsachen, der konstanten Proportionen der Massen bei chemischen Verbindungen[1]), der chemischen Isomerien und der Beziehungen zwischen der Drehung der Polarisationsebene und der chemischen Konstitution usw. äußerst nützlich.

Die Atomistik ist dabei noch großer Weiterentwickelung fähig. Man kann sich unter den Atomen kompliziertere, mit beliebigen Eigenschaften begabte Individuen denken, wie z. B. die Vektoratome, von denen wir sechs Seiten vorher in der Anmerkung sahen, daß sie momentan die einfachste Beschreibung der elektromagnetischen Erscheinungen liefern.[2])

Den der Phänomenologie noch ganz unzugänglichen turbulenten Erscheinungen tritt nun die heutige Atomistik freilich mit bestimmten vorgefaßten Meinungen entgegen; allein sie besitzt dafür wertvolle Fingerzeige, wie jene Erschei-

1) Keine chemische Verbindung entsteht momentan, jede pflanzt sich mit endlicher, wenn auch großer Geschwindigkeit im Raume fort. Macht man daher von der obigen Analyse des Kontinuitätsbegriffes Gebrauch, so würde das Mach-Ostwaldsche Bild des Chemismus (Mach, l. c. p. 359) aussagen, daß immer a Elementarkörperchen des einen, b des anderen Stoffes verschwinden und dafür c eines neuen Stoffes zum Vorscheine kommen. Der Unterschied zwischen dieser und den landläufigen Anschauungen der Chemie ist offenbar nicht mehr wesentlich. Daran würde nichts wesentliches geändert, wenn erst die in bekannter Weise zu findende Limite die Tatsachen darstellen würde.

2) Wenn man unter einer mechanischen Naturerklärung eine solche versteht, welche auf den Gesetzen der heutigen Mechanik beruht, so muß es als durchaus unsicher bezeichnet werden, daß die Atomistik der Zukunft eine mechanische Naturerklärung sein werde. Nur insofern, als sie immer möglichst einfache Gesetze für die zeitliche Veränderung zahlreicher, in einer Mannigfaltigkeit von wohl drei Dimensionen verteilter Einzeldinge wird angeben müssen, kann man sie jedenfalls im übertragenen Sinne als eine mechanische Theorie bezeichnen.

Sollte z. B. wirklich keine einfachere Beschreibung der elektromagnetischen Erscheinungen gefunden werden, so müßte man die oben im Texte besprochenen Vektoratome beibehalten. Ob man nun die Gesetze, nach denen sich diese mit der Zeit verändern, als mechanische bezeichnen will oder nicht, das dürfte vollkommen von unserem Belieben abhängen.

nungen wohl darstellbar sein dürften, ja kann sie in manchen Fällen geradezu voraussagen. So vermag die Gastheorie den Verlauf aller mechanischen und thermischen Erscheinungen in Gasen auch bei turbulenter Bewegung vorauszusagen und gibt so Anhaltspunkte, wie für diese Erscheinungen die Temperatur, der Druck usw. zu definieren sein werden. Gerade das aber ist die Hauptaufgabe der Wissenschaft, die zur Darstellung einer Reihe von Tatsachen dienenden Bilder so zu gestalten, daß daraus der Verlauf anderer ähnlicher vorhergesagt werden kann. Es versteht sich freilich, daß die Vorhersagung noch durch das Experiment geprüft werden muß. Wahrscheinlich wird sie sich nur teilweise bestätigen. Es ist dann Hoffnung vorhanden, die Bilder so abzuändern und zu vervollständigen, daß sie auch den neuen Tatsachen entsprechen. (Wir erfahren Neues über die Beschaffenheit der Atome).

Natürlich ist die Forderung berechtigt, daß man dem Bilde nicht mehr willkürliches (das möglichst allgemein zu halten ist) hinzufüge, als zur Beschreibung größerer Erscheinungsgebiete unumgänglich notwendig ist, daß man stets bereit sei, das Bild abzuändern, ja die Möglichkeit im Auge behalte, einmal zu erkennen, daß an Stelle des Bildes besser ein ganz neues, grundverschiedenes treten müsse. Schon deshalb, weil dann die Konstruktion des neuen Bildes auf Grund der unberührt gebliebenen Spezialbilder der Phänomenologie geschehen müßte, sind auch diese neben der Atomistik sorgfältig zu pflegen.

Zum Schlusse möchte ich noch weiter gehend, mich fast bis zur Behauptung versteigen, daß es in der Natur des Bildes liege, daß dasselbe gewisse willkürliche Züge behufs der Abbildung beifügen muß, und daß man strenge genommen, jedesmal über die Erfahrung hinausgehe, sobald man aus einem gewissen Tatsachen angepaßten Bilde auch nur auf eine einzige neue Tatsache schließt. Ist es mathematisch gewiß, daß man nicht, um alle Tatsachen darzustellen, an Stelle der Fourierschen Wärmeleitungsgleichung eine ganz andere setzen müßte, die sich gerade nur in den bisher beobachteten Fällen auf die Fouriersche reduziert, so daß man bei der nächstbesten neuen Beobachtung sofort das Bild und infolgedessen auch die Vorstellung über den Wärmeaustausch der

kleinsten Teilchen total ändern müßte? Es könnten z. B. alle bisher untersuchten Körper zufällig gerade gewisse Regelmäßigkeiten zeigen, bei deren Wegfall die Fouriersche Gleichung falsch wird.

Ähnlich wie Fourier das Gesetz der spezifischen Wärme und die Proportionalität des Wärmeaustausches zwischen zwei sich berührenden Körpern mit der Temperaturdifferenz, so überträgt die Gastheorie die allgemeinen Gesetze der Mechanik und die Tatsache, daß die Körper sich bei der Berührung verdrängen, in etwas größerer Entfernung aber nicht mehr aufeinander wirken, auf die kleinsten Teilchen, die man, wie wir sahen, gar nicht entbehren kann, wenn man ausgedehnte Körper darstellen soll. Auch die Annahme, daß ein- und dieselben kleinsten Teilchen zur Darstellung des tropfbaren und gasförmigen Aggregatzustandes genügen, scheint mir bei der Kontinuität beider Aggregatzustände wohl begründet und entspricht allein der Forderung nach Einfachheit der Naturbeschreibung. Die Berechtigung der beiden letzteren Annahmen zugegeben, können wir aber der Konsequenz gar nicht entgehen, daß die kleinsten Teile in eine dem Auge unsichtbare relative Bewegung geraten, welche sichtbare, lebendige Kraft verschluckt und deren Wahrnehmbarkeit durch gewisse Nerven sicher nicht unwahrscheinlich ist (speziell mechanische Wärmetheorie), sowie daß sie in sehr verdünnten Körpern meist nahe gerade Bahnen beschreiben (kinetische Gastheorie). Das Bild, durch welches wir die mechanischen Erscheinungen darstellen, würde durch Weglassen dieser Folgerungen nur komplizierter, wenn nicht widersprechend. Die weitere Annahme, daß die Molekularbewegungen nicht aufhören, während erregte, sichtbare Bewegungen allmählich in Molekularbewegungen übergehen, ist ebenfalls den anerkannten mechanischen Gesetzen vollkommen konform.

Sämtliche Folgerungen der speziellen mechanischen Wärmetheorie, sie mochten den disparatesten Gebieten angehören, wurden durch die Erfahrung bestätigt, ja ich möchte sagen, sie stimmten bis in ihre feinsten Nuancen merkwürdig mit dem Pulsschlage der Natur.[1])

1) Unter vielem erwähne ich da nur die Erklärung der drei Aggregatzustände und deren Übergänge ineinander, ferner die Über-

Freilich sind die Fourierschen Annahmen über die Wärmeleitung so außerordentlich einfach und die Tatsachen, welche man aus denselben noch berechnen könnte, den schon durch die Beobachtung geprüften so konform, daß die Behauptung, Fouriers Annahme und seine Gleichung wären (als erste Annäherung) nicht absolut gewiß, vielleicht als Haarspalterei erscheint. Ich aber finde es nicht verwunderlich, daß man mit recht einfachen plausiblen Annahmen auskommt, sobald man das Tatsachengebiet so willkürlich beschränkt, und daß dann auch bald die von den bestätigten Fällen wesentlich verschiedenen ausgehen.

Sollte es je gelingen, eine ebenso umfassende Theorie, wie die heutige Atomistik zu konstruieren, welche auf ebenso klarer und unanfechtbarer Grundlage beruht, wie die Fouriersche Wärmeleitungstheorie, so wäre dies natürlich ein Ideal. Ob dies eher durch nachherige Vereinigung der vorher unvereinfachten phänomenologischen Gleichung oder dadurch möglich sein wird, daß die Anschauungen der heutigen Atomistik durch fortwährende Anpassung und stete Bestätigung durch die Erfahrung endlich der Evidenz der Fourierschen Theorie sich asymptotisch nähern, scheint mir heute noch

einstimmung des Entropiebegriffes mit dem mathematischen Ausdrucke der Wahrscheinlichkeit oder Ungeordnetheit einer Bewegung. Die Behauptung, ein bewegtes System sehr vieler Körperchen strebe, von unbeobachtbar wenigen Ausnahmen abgesehen, einem Zustande zu, für den ein angebbarer mathematischer, die Wahrscheinlichkeit des Zustandes messender Ausdruck ein Maximum wird, scheint mir doch über den fast tautologischen, es strebe dem stabilsten Zustande zu, hinauszugehen. Übrigens vermutet Mach (l. c. p. 381) mit Recht, daß ich bei Abfassung einer populären Rede über dieses Thema die von ihm zitierten, das Streben nach Stabilität behandelnden Schriften nicht kannte, von denen alle bis auf eine erst Jahre nach meiner Rede, alle nach Publikation derjenigen Abhandlungen erschienen sind, von denen jene Rede nur eine populäre Darstellung gibt.

Wenn das Energieprinzip die einzige Begründung der speziellen mechanischen Wärmelehre und die Erklärung desselben ihr einziger Zweck wäre, dann wäre sie freilich nach der allgemeinen Erkenntnis desselben überflüssig. Wir sahen aber, daß noch viele andere Gründe für sie sprechen, und daß sie auch von zahlreichen anderen Erscheinungen ein Bild liefert.

Die Theorie der elektrischen Fluida war von vornherein in ganz anderer Weise unnatürlich und wurde von zahlreichen Forschern seit jeher als eine provisorische erkannt.

völlig unentschieden.[1]) Denn wenn man auch die schon vorliegenden Beobachtungen, wobei eine Molekularbewegung in tropfbaren Flüssigkeiten und Gasen direkt beobachtet worden zu sein scheint, für nicht beweisend hält, so kann doch die Möglichkeit künftiger beweisender (d. h. die Wahrscheinlichkeit bis zu beliebigem Grad steigernder) Beobachtungen nicht geleugnet werden. Ganz verfehlt scheint es mir daher, wenn man sicher behauptet, daß Bilder, wie die spezielle mechanische Wärmetheorie oder die Atomtheorie des Chemismus und der Kristallisation, einmal aus der Wissenschaft verschwinden müßten. Es kann nur gefragt werden, ob die Übereilung, welche in der Kultivierung solcher Bilder liegt, oder die zu große Vorsicht, welche empfiehlt, sich derselben zu enthalten, für die Wissenschaft unvorteilhafter wäre.

Wieviel die Vorstellungen der Atomistik durch Förderung der Anschaulichkeit und Übersicht der Physik, Chemie und Kristallographie genützt haben, ist bekannt; daß sie besonders zur Zeit, als sie noch den Erscheinungen viel weniger als jetzt angepaßt waren und mehr von metaphysischen Gesichtspunkten betrachtet wurden, auch hemmend wirkten und daher in einigen Fällen wie ein unnützer Ballast erscheinen, soll nicht geleugnet werden. Man wird, ohne die Übersicht aufzugeben, nichts von der Sicherheit verlieren, wenn man die

---

1) Bedeutende Ausgestaltungen und weitere Anpassungen (vgl. Mach, l. c. p. 380) werden aber bei beiden Theorien notwendig sein. Die Fouriersche Wärmeleitungsgleichung

$$\frac{du}{d} = k\Delta u$$

ist bei konstantem k entschieden falsch. Daß sie bei veränderlichem k die Form

$$h\frac{du}{dt} = \frac{d}{dx}\left(k\frac{du}{dx}\right) + \frac{d}{dy}\left(k\frac{du}{dy}\right) + \frac{d}{dz}\left(k\frac{du}{dz}\right)$$

annehmen müsse, ist kaum durch die Erfahrung genügend bestätigt. Die Rückwirkung der von der nicht stationären Wärmeleitung untrennbaren Kompressionen und Dilatationen auf die Wärmeverteilung, die direkte Wirkung der heißen Volumelemente auf andere entfernte durch Wärmestrahlung in einem diathermanen Körper (und wer weiß, ob nicht alle Körper für gewisse, natürlich auch Energie, also Wärme übertragende Strahlen diatherman sind) stellt sie gar nicht dar. Man sagt freilich, diese gehören nicht zur reinen Wärmeleitung; allein eine solche reine Wärmeleitung wäre wieder ein metaphysischer, hypostasierter Begriff.

Phänomenologie der möglichst sichergestellten Resultate strenge von den zur Zusammenfassung dienenden Hypothesen der Atomistik trennt und beide als gleich unentbehrlich mit gleichem Eifer fortentwickelt, aber nicht unter bloßer einseitiger Beachtung der Vorzüge der Phänomenologie behauptet, daß diese jedenfalls einmal die heutige Atomistik verdrängen werde.

Wenn auch die Möglichkeit, die Bilder der Phänomenologie auf einem anderen Wege, als dem der heutigen Atomistik zu einer umfassenden Theorie zu vereinen besteht, so ist doch folgendes sicher:

1. Diese Theorie kann kein Inventar in dem Sinne sein, daß jede einzelne Tatsache mit einem besonderen Zeichen bezeichnet wäre; es wäre ja dann ebenso umständlich, sich darin zurechtzufinden, als die Tatsachen alle zu erleben. Sie kann also, wie die heutige Atomistik, bloß eine Anweisung sein, sich ein Weltbild zu konstruieren.

2. Will man sich keiner Illusion über die Bedeutung einer Differentialgleichung oder überhaupt einer kontinuierlich ausgedehnten Größe hingeben, so kann man nicht in Zweifel sein, daß dieses Weltbild in seinem Wesen wieder ein atomistisches sein muß, d. h. eine Vorschrift, sich die zeitlichen Veränderungen einer überaus großen Anzahl von in einer Mannigfaltigkeit von wohl drei Dimensionen angeordneten Dingen nach bestimmten Regeln zu denken. Die Dinge können natürlich gleichartig oder von verschiedener Art, unveränderlich oder veränderlich sein. Das Bild könnte bei der Annahme einer großen endlichen Zahl, oder es könnte dessen Limite bei stets wachsender Zahl alle Erscheinungen richtig darstellen.

Denkt man sich ein allumfassendes Weltbild, in dem jeder Zug die Evidenz der Fourierschen Wärmeleitungstheorie hat, möglich, so ist es noch unentschieden, ob es nach der phänomenologischen Methode oder durch stete Weiterbildung und erfahrungsmäßige Bestätigung der Bilder der heutigen Atomistik leichter zu erreichen ist. Man könnte sich dann ebenso gut auch denken, daß es mehrere Weltbilder geben könnte, die alle die gleiche ideale Eigenschaft besäßen.

Anmerkung 1. Aus den Prinzipien dieses Aufsatzes folgt

zweifellos, daß auch kontinuierliche geometrische Figuren, z. B. der Kreis, nur den Sinn haben, daß man sich dieselben zuerst aus einer endlichen Punktezahl bestehend zu denken hat und erst dann diese Zahl beliebig wachsen lassen muß. Die Limite, der sich der Umfang des ein und umschriebenen n-Ecks mit wachsendem n nähert, ist eben die Definition der Zahl π. Doch wird man sich den Kreis (als geometrischen Begriff) nicht aus einer großen endlichen Atomzahl gebildet denken, da er nicht, wie der Begriff eines Grammes Wasser von 4^0 C unter dem Atmosphärendruck ein Gedankensymbol für einen einzigen gleichbleibenden Komplex ist, sondern wie der Zahlbegriff auf die verschiedensten Komplexe mit den verschiedensten (natürlich immer sehr großen) Atomzahlen anwendbar sein soll.

Anmerkung 2. Man kann natürlich dem, was wir auf der dritten Seite dieser Abhandlung „Elementarkörperchen" oder „Atome im allgemeinsten Sinne" oder „Elemente" nannten, beliebige andere Namen geben, z. B. „Vorstellungseinheiten" oder „Etwase". Von dem Namen „Volumenelemente" aber möchte ich abraten. 1. bringt derselbe viele Vorstellungen mit sich, die gerade zu vermeiden sind, damit das Bild ungetrübt bleibe, z. B. die einer bestimmten, etwa parallelepipedischen Gestalt, oder die, daß jedes Element noch aus kleineren Teilchen besteht, welche die betreffende Eigenschaft wieder in verschiedenem Grade (also bei der Wärmeleitung wieder verschiedene Temperaturen) haben. Das ist aber gerade die konfuseste Annahme, die bei mechanischer Auswertung der bestimmten Integrale oder der durch Differentialgleichungen definierten Werte niemals gemacht werden kann, daß in den Elementen selbst Wärmeleitung stattfinde. 2. ist der Begriff Volumenelement in anderer Beziehung zu enge. Wie könnte man den Vektoratomen der Anmerkung auf der fünften Seite dieser Abhandlung den Namen „Volumenelemente" geben?

11.

Nochmals über die Atomistik.[1]

Um eine vollständige Übereinstimmung mit allem, was Herr Volkmann[2]) über diesen Gegenstand sagt, noch schärfer zu präzisieren, will ich bestätigen, daß ich in meinem ersten betreffenden Aufsatze[3]) nie die praktische Nützlichkeit der Vorstellung von Volumelementen, die wieder bis ins Unendliche aus kleineren Volumelementen bestehen, in Zweifel gezogen, sondern dieselbe nur für erkenntnistheoretisch unvollkommener als die atomistische Vorstellung erklärt habe. Ich will die Idee, die mir dabei vorschwebte, nochmals an dem einfachen Beispiele der Fourierschen Wärmeleitungsgleichungen zu veranschaulichen suchen.

Wir wollen jemanden auffordern, sich in einem begrenzten gegebenen Raum eine große endliche Zahl von Punkten zu denken, etwa die Ecken von lauter regelmäßig geschichteten Würfeln. Wir verlangen ferner, daß er sich zu Anfang der Zeit in jedem dieser Punkte eine bestimmte gegebene Temperatur denke. Nach einer kleinen endlichen Zeit sei die Temperatur jedes Punktes das arithmetische Mittel der Temperaturen der 6 Nachbarpunkte. Nach einer zweiten gleich langen Zeit werde eine dritte Temperaturverteilung nach demselben Gesetze aus der zweiten gefunden usw. Dann haben wir dem Betreffenden eine ganz bestimmte Anweisung zu ganz bestimmten Rechnungsoperationen gegeben, die er bei obwaltenden Regelmäßigkeiten vielleicht vereinfachen, aber jedenfalls bei genügender Geduld sicher und eindeutig zu

1) Aus den Annalen der Physik und Chemie. N. F. Band 61. S. 790.
2) Volkmann, Wied. Ann. 61. p. 196. 1897.
3) Boltzmann, Wied. Ann. 60. p. 231. 1897.

Ende führen kann. Wir wollen diese Anweisung wegen ihrer Klarheit und Unzweideutigkeit ein erkenntnistheoretisch einwurfsfreies und wegen der Zugrundelegung einer endlichen Zahl von Elementen ein atomistisches Vorstellungsbild im weiteren Sinne des Wortes nennen.

Wir können nun fordern, daß sich der Betreffende die Punkte und Zeitmomente milliardenmal dichter gedrängt denke und dann abermals milliardenmal dichter usw. bis eine weitere Vermehrung keinen bemerkbaren Einfluß mehr auf die zu irgend einer Zeit in irgend einem Punkte berechnete Temperatur hat. Wir haben dann noch immer ein atomistisches und erkenntnistheoretisch einwandfreies Bild. Denn ob der Betreffende Zeit findet, soviel Rechnungen auszuführen, ob er imstande ist, durch Rechnungskunstgriffe die Auffindung der betreffenden Limite abzukürzen, das ist seine Sache. Die Aufgabe ist klar definiert und bei genügendem Zeitaufwande lösbar.

Dabei habe ich absichtlich die Frage ganz bei Seite liegen lassen, ob man den Gesetzen des Wärmeausgleichs in einem wirklichen Körper immer noch näher kommt, je mehr man die Zahl der Elemente vermehrt oder ob man die feinsten Details dieses Wärmeaustausches dadurch besser darstellen kann, daß man die Zahl der Elemente nicht über eine gewisse Grenze vermehrt und ihnen speziellere Eigenschaften zuschreibt, z. B. daß sie sich die Wärme zustrahlen oder in Form zitternder Bewegungen mitteilen. Denn über die letztere Frage wäre es, wie mir scheint, müßig zu sprechen, solange es nicht gelungen ist, Erscheinungen wirklich zu beobachten, welche auf die Nützlichkeit solcher spezieller Bilder hinweisen.

Wenn man dagegen jemandem sagt, er möge sich einen Körper aus Volumelementen bestehend denken, die sich ins Unendliche wieder in Volumelemente zerlegen lassen und wo in jedem Punkte die Temperatur eine kontinuierliche Funktion der Koordinaten ist, welche irgend eine partielle Differentialgleichung erfüllt, so hat man ihm damit noch keine brauchbare Regel gegeben, mit der er wirklich etwas anzufangen vermöchte, wenn man nicht für die Bedeutung der partiellen Differentialgleichung wieder die frühere von einer endlichen Zahl von Elementen ausgehende Erklärung gibt.

Eine ganz einfache Analogie wäre folgende: Wenn ich jemandem sage, er solle von der Reihe $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \ldots$ wirklich unendlich viele Glieder summieren, so wird er dies nicht ausführen können. Wenn ich aber sage, er solle so viele Glieder summieren, bis eine weitere Vermehrung derselben das Resultat nicht mehr bemerkbar beeinflußt, so habe ich ihm eine klare ausführbare Vorschrift gegeben, und alle Beweise, daß die Summe von unendlich vielen Gliedern dieser Reihe gleich 2 ist, haben nur den Sinn, daß jemand, wenn er noch tausende und tausende von Gliedern dazu nimmt, über den Wert 2 niemals hinaus, ihm jedoch immer näher kommt.

Dasselbe scheint mir von den Gleichungen der Elastizitätslehre, sowie von den kompliziertesten Gleichungen der mathematischen Physik zu gelten.[1]) Man kann über den zur Gewohnheit gewordenen Manipulationen mit den Symbolen der Integralrechnung die bei der Begriffsbildung zu Grunde gelegte Forderung des Ausgehens von einer endlichen Zahl von Elementen vorübergehend vergessen, aber nicht wirklich umgehen.

Daher scheint es mir auch zu kommen, daß schon für unser Gefühl die sich gruppierenden und aufeinander wirkenden Atome eines elastischen Körpers viel klarer sind, als die in Wechselwirkung begriffenen Volumelemente.

1) Hiermit ist selbstverständlich nicht gesagt, daß die ersteren Gleichungen nur durch die Atome Naviers und Poissons erklärt werden könnten. Vielleicht können sie auch durch ganz andere Gedankenbilder dargestellt werden, welche aber jedenfalls, wenn sie erkenntnis-theoretisch klar und einwurfsfrei sein sollen, wieder das sein müssen, was wir atomistisch im weiteren Sinn des Wortes genannt haben.

Die von jeder atomistischen Vorstellung losgelösten Begriffe der Differential- und Integralrechnung sind echt metaphysische, wenn wir einer gelungenen Definition Machs folgend darunter solche verstehen, von denen wir vergessen haben, wie wir dazu gelangt sind.

Selbstverständlich muß man alle Eigenschaften der Körper, die nicht bloß durch das Zusammenwirken der großen Zahl der Elemente entstehen, auch den Elementen beilegen und kann in einer anderen Weise gar kein Bild ausgedehnter kontinuierlich scheinender Körper mit diesen Eigenschaften erhalten. Ich konnte daher nie begreifen, wie man der Atomistik daraus einen Vorwurf machen kann, daß sie die Eigenschaften der ausgedehnten Körper auch den Elementen derselben beilegt.

Dies schließt natürlich nicht aus, daß es, nachdem man sich einmal an die Abstraktion der Volumelemente und der übrigen Symbole der Integralrechnung gewöhnt und die Methode, mit ihnen zu operieren, eingeübt hat, bei Ableitung gewisser Formeln, welche Herr Volkmann die für die gröberen Erscheinungen nennt, bequem und fördernd sein kann, sich an die eigentliche atomistische Bedeutung dieser Abstraktionen gar nicht zu erinnern. Diese Abstraktionen sind ein allgemeines Schema für alle Fälle, wo man sich im Kubikmillimeter 10^{10} oder $10^{10^{10}}$ oder noch milliärdenmal mehr Elemente denken kann; daher sind sie besonders in der Geometrie unentbehrlich, die ja auf die verschiedensten physikalischen Fälle, wo die Zahl der Elemente sehr verschieden sein kann, gleich gut passen muß. Es ist bei Benutzung aller so beschaffenen Schemata häufig förderlich, den Grundgedanken, dem sie entwachsen sind, beiseite liegen zu lassen, ja vorübergehend ganz zu vergessen; aber ich denke, es wäre doch ein Irrtum, zu glauben, daß man ihn dadurch los geworden sei.

So sind algebraische Größen nur ein allgemeines Schema für numerische Werte. Es würde bei vielen Rechnungen ganz unnütz aufhalten, wenn man immer bestimmte Zahlenwerte substituieren würde, und man könnte recht gut die Rechnungen in zwei Klassen einteilen, in solche, wo das Herabsteigen bis zur Substitution numerischer Werte notwendig ist, und in solche, wo es nicht notwendig, ja sogar überflüssig und schädlich wäre. Aber deswegen sind erkenntnistheoretisch betrachtet, auch in letzteren Rechnungen die algebraischen Ausdrücke doch nichts anderes, als Symbole für numerische Werte.

(Eingegangen am 2. Juni 1897.)

12.

Über die Frage nach der objektiven Existenz der Vorgänge in der unbelebten Natur.[1]

Ich will zunächst meinen Standpunkt durch eine wahre Anekdote charakterisieren. Es war noch zur Zeit meiner Gymnasialstudien, als mich mein nun lange verstorbener Bruder oft vergeblich von der Widersinnigkeit meines Ideals einer Philosophie zu überzeugen suchte, welche jeden Begriff bei seiner Einführung klar definiert. Endlich gelang es ihm in folgender Weise: In der Schulstunde war uns ein philosophisches Werk (ich glaube von Hume) als besonders konsequent gepriesen worden. Sofort verlangte ich dasselbe in Begleitung meines Bruders in der Bibliothek. Es war bloß im englischen Original vorhanden. Ich stutzte, da ich kein Wort englisch verstand; aber mein Bruder fiel sofort ein: „Wenn das Werk das leistet, was du davon erwartest, so kann auf die Sprache nichts ankommen, denn dann muß ja ohnehin jedes Wort, bevor es gebraucht wird, klar definiert werden".

Man kann kaum drastischer zeigen, welche Menge von Erfahrungen, sowie von Worten und Gedanken, womit sie bezeichnet werden, als bekannt vorausgesetzt werden müssen, wenn wir uns überhaupt verstehen sollen, und daß wir nicht alles definieren können, sonders bloß mittels ebenfalls bekannter Zeichen Regeln anzugeben haben, wie unsere Bezeichnungen vereinfacht und den bekannten Erfahrungen angepaßt werden können.[2]) Wie Euklid in der Geometrie un-

1) Aus den Sitzungsberichten der kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien. Mathem.-naturw. Klasse; Bd. CVI. Abt. II. a. S. 83. Jänner 1897.

2) Widersprüche (z. B. wir können uns die Körper nicht wirk-

beweisbare Axiome vorausschickt, so werden wir zunächst prüfen, welche Tatsachen die Grundlage und Vorbedingung der Erkenntnis bilden. Wir werden ehrlich eingestehen, daß wir mit diesen Tatsachen nichts tun können und tun sollen, als sie durch bekannte Zeichen in Erinnerung bringen, und werden uns nicht wundern, wenn man gerade deren Erklärung bisher für das Allerschwierigste hielt.

Jedermann weiß, was man unter Sinnesempfindungen und Willensimpulsen versteht. Es ist Vorbedingung der Intelligenz, daß ständige Regelmäßigkeiten zwischen diesen bestehen,[1]) welche wir durch verhältnismäßig wenige Vorstellungsbilder erfassen können. Was dies heißt, ist erfahrungsmäßig bekannt, und wir werden kein Rätsel darin erblicken, wenn es ebensowenig näher erklärt werden kann, als warum diese Regelmäßigkeiten stattfinden. Wenn ferner auf die Sinnesempfindung (oder den Empfindungskomplex) A nach dem Willensimpulse (oder Impulskomplexe) B immer eine Sinnesempfindung C, nach dem Willensimpulse D aber eine andere Sinnesempfindung E eintritt, so muß dies gewisse Eindrücke (Erinnerungen, Weltbilder) in uns hinterlassen, die sich natürlich zu den wirklichen Vorgängen wie Zeichen zum Be-

---

lich unendlich teilbar und andererseits auch nicht aus einer endlichen Punktzahl einen ausgedehnten Körper entstehend denken) können nur in den Bezeichnungen liegen, sind also ein Fingerzeig, daß diese unzweckmäßig gewählt sind. Die Erfahrung kann sich nicht widersprechen; denn selbst wenn ihre Gesetze ganz wechseln würden, hätte sich die Bezeichnung den veränderten Gesetzen anzupassen.

1) Dies ist das Kausalgesetz, welches man also nach Belieben als die Vorbedingung aller Erfahrung oder selbst als eine Erfahrung bezeichnen kann, die wir bei jeder Erfahrung mitmachen.

Wir können aus Erfahrungen schließen, daß beim Lotto jeder Zug gleich wahrscheinlich ist. Infolgedessen haben wir die Wahrscheinlichkeitsrechnung so konstruiert, daß es nach ihren Gesetzen, wenn auch einmal zufällig eine Nummer öfters herauskam, dadurch doch nicht wahrscheinlicher wird, daß sie beim nächsten Zuge wieder herauskommt. Man schloß nun so: A priori ist es gleich wahrscheinlich, daß morgen die Sonne aufgeht oder nicht, folglich wird durch den Umstand, daß sie bisher täglich aufging, ihr morgiger Aufgang nicht wahrscheinlicher. Dem muß entgegnet werden, daß eine aprioristisch gleiche Wahrscheinlichkeit beider Eventualitäten ebenso sinnlos ist, wie ein aprioristisches Wissen der einen oder anderen, daß hier eben die Wahrscheinlichkeitsgesetze des Lottos erfahrungsmäßig nicht anwendbar sind.

zeichneten verhalten (wir sagen, daß wir nach A und B die Empfindung C, nach A und D aber E erwarten), und diese Eindrücke müssen in vielen Fällen zur Folge haben, daß je mehr sie ausgebildet sind, desto sicherer, auf die Sinnesempfindung A stets der Willensimpuls B, nicht aber D erfolgt. (Wir reagieren auf Eindrücke, kommen durch sie in Emotion.) Wir nennen dann die Empfindung C eine erwünschte, D eine unerwünschte.[1]) Diese Impulse hängen daher in besonderer Weise von unseren inneren Zuständen (Erinnerungen) ab. Deshalb sagen wir, sie gehen von uns aus und nennen sie willkürlich, womit natürlich nicht behauptet werden kann, daß sie gesetzlos erfolgen.[2])

Da wir durch gute Erinnerungsbilder Erwünschtes erreichen, so sind erstere selbst erwünscht. Es zeigt sich nun, daß wir durch gewisse Willensimpulse die Erinnerungen erhalten, auffrischen, ja auch deren Verbindung ergänzen und vervollständigen können. Da gute Erinnerungsbilder erwünscht sind, werden solche Willensimpulse oft eintreten (wir stellen vor, denken nach).

Wir bezeichnen Handlungen, auf welche Gewünschtes erfolgt, und Vorstellungen, durch welche geleitet wir in solcher Weise handeln, als richtig. Wir müssen trachten, daß unsere Vorstellungen richtig und dabei ökonomisch sind, d. h. daß wir daraus mit dem geringsten Aufwande von Zeit und Mühe jedesmal die richtige Handlungsweise finden können. Die Anforderung an jede Theorie ist, daß sie richtig und ökonomisch sei; dann entspricht sie eo ipso den Denkgesetzen. Ich glaube nicht, daß man letzteres, wie es Hertz tut, als besondere Forderung aufzustellen braucht.

Der eingangs geschilderte Vorgang ist natürlich der größten Komplikationen fähig. Es sei auf verschiedene Empfindungskomplexe $A_1 A_2 A_3 \ldots$, welche gewisse Teile T gemein haben (ähnlich sind), stets eine Empfindung C gefolgt oder

1) Die ganze Einrichtung hat den Zweck, das dem Individuum oder der Gattung Nützliche herbeizuführen, das Schädliche abzuhalten.

2) Es wäre ganz falsch, hieraus zu folgern, daß man gemeinschädliche Handlungen nicht strafen dürfe. Man muß sie strafen, d. h. im Verbrecher und anderen Erinnerungen erzeugen, welche die ungewünschte Handlung in Zukunft verhüten. Man darf aber nur willkürliche Handlungen strafen, weil auf unwillkürliche die Erinnerungsbilder ohne Einfluß sind.

es habe der Willensimpuls B darauf die Empfindung C hervorgerufen. Den Eindruck, den dies in unserer Erinnerung hinterläßt, bezeichnen wir so: Wir erwarten, daß auf jeden Empfindungskomplex, der die Empfindungen T enthält, C eintreten oder C von B hervorgerufen werde oder wir schließen letzteres aus ersterem. Wenn wir den Willensimpuls B nicht erfolgen ließen, sagen wir, es wäre C nach diesem Willensimpulse gefolgt.[1]

Wenn wir nun einen neuen Empfindungskomplex A_x haben, worin ebenfalls die Empfindungen T vorkommen, so schließen, urteilen, vermuten, meinen[2] wir, daß C folgen (respektive durch B erzeugt werden) wird. Trifft dies tatsächlich ein, so wird unsere Vermutung durch die Erfahrung bestätigt, wenn nicht, so werden wir überrascht, unseren Erinnerungen wird eine neue hinzugefügt, unser inneres Bild der Tatsachen wird ergänzt, verbessert, angepaßt. Wir machen Willensimpulse, welche Erinnerungen ins Bewußtsein rufen und Empfindungen herbeiführen, die diesen Prozeß beschleunigen. Wir suchen das in A_x Enthaltene, Unterscheidende, die Ursache, wir forschen, experimentieren.[3]

Alle diese Vorgänge können beliebige weitere Komplikationen erfahren. Zur Herstellung des Bildes, was wir in einem gegebenen Falle zu erwarten haben, können selbst wieder komplizierte Willenstätigkeiten (Konstruktionen, Rechnungen) erforderlich sein. Das Bild kann so umfassend sein, daß wir mittels desselben unter den verschiedensten Verhältnissen den Erfolg konstruieren können. Wenn wir mit den Bildern selbst experimentieren, das Gemeinsame und Verschiedene derselben durch Willensimpulse ins Bewußt-

1) Wir können so auch auf Vergangenes schließen. Wenn B erfolgt wäre, so wäre in der Vergangenheit C darauf eingetreten, oder ein anderer Fall: Ich erinnere mich, einmal einen Empfindungskomplex A gehabt zu haben, von dem ich weiß, daß C immer darauf folgt; ich schließe, daß auch damals C folgte, selbst wenn ich mich nicht mehr direkt daran erinnere.

2) Vermutung und Meinung sind unsicher, der Schluß fast sicher, das Urteil bezieht sich besonders auf die Zweckmäßigkeit unserer eigenen Bezeichnungen oder auch von Handlungen, worauf einzugehen mir hier vollkommen ferne liegt.

3) Vgl. Mach, Prinzipien der Wärmelehre. Leipzig, Barth, 1896, S. 386, 416 und a. a. O.

sein bringen und in Fällen, die sich von den beobachteten unterscheiden, den Erfolg zu konstruieren suchen, so spekulieren wir. Das Resultat wird wie das der einfachsten Vermutung durch die Erfahrung zu prüfen sein.

Von Meinungen, welche genügend oft durch die Erfahrung bestätigt wurden, sagen wir, sie sind gewiß, wir wissen das durch sie ausgedrückte. Zur Konstruktion der Gedankenbilder haben wir fortwährend Bezeichnungen für das, was verschiedenen Erscheinungsgruppen oder Gruppen von Gedankenbildern oder Gedankenoperationen gemeinsam ist, nötig. Solche Bezeichnungen nennen wir Begriffe.

Wenn im (obigen Beispiele) C auf einen uns noch fremden Komplex A_y folgt, so sagen wir, wir haben dies erklärt, sobald wir T in A_y finden, oder falls uns alle A noch fremd wären, wenn wir diese beobachtet und T in allen, sowie in A_y gefunden haben (Erklärung von Aragos Versuch durch Faradays Entdeckung der Induktionsströme).

Wie kommen wir nun zur Unterscheidung gewisser Sinnesempfindungen als unserer eigenen, anderer als fremder? Mit der Bildung unserer Erinnerungsbilder steht die Reihe der Sinnesempfindungen, welche wir die unserigen nennen, in viel direkterem Zusammenhange, als die fremden Sinnesempfindungen. Jede unserer eigenen Empfindungen weckt ein Erinnerungsbild, wenn dieses auch bald verloren geht, wogegen eine fremde nur dann auf unsere Erinnerungsbilder von Einfluß ist, wenn sie auf eigene Empfindungen einwirkt. Unser Weltbild wäre von idealer Vollkommenheit, wenn wir für jede unserer Empfindungen ein Zeichen hätten und außerdem eine Regel, nach welcher wir das Eintreffen aller unserer künftigen Empfindungen und deren Abhängigkeit von unseren Willensimpulsen aus den Zeichen konstruieren könnten. Wenn hierbei die Vorhersagung unserer eigenen Empfindungen genügt, ja allein kontrollierbar ist und und wenn fremde Empfindungen nur durch Vermittlung unseriger auf unser Weltbild wirken können, wie kommen wir da überhaupt zu Zeichen für fremde Empfindungen?

Die Beobachtung jedes Kindes gibt uns hierüber Aufschluß. Bei gewissen Vorgängen mit gewissen Empfindungskomplexen (Annäherung des Gesichtsbildes meiner Hand an das einer Flamme) haben wir (mitunter heftige) neue Emp-

findungen, welche Willensimpulse zur Folge haben, die wieder auf die Empfindungskomplexe einwirken (wir sehen das Bild der Hand sich entfernen). Vollkommen analog verhält sich das ganz ähnliche Gesichtsbild einer fremden Hand.

Gewisse Willensimpulse erzeugen, wenn wir sprechen, gewisse (z. B. im Spiegel sichtbare) Mundbewegungen und Gehörsempfindungen. Wir sehen an anderen dem Spiegelbilde unseres Kopfes ganz ähnlichen Gesichtsbildern gleiche Mundbewegungen und haben dabei dieselben Gehörsempfindungen.

Wir bezeichneten als Zweck unseres Denkens solche Regeln für unsere Vorstellungsbilder, daß diese unsere künftigen Empfindungen uns vorher verkünden. Dieser Zweck wird in hohem Maße erreicht, wenn wir die an den auf unseren Körper bezüglichen Empfindungskomplexen gemachten Erfahrungen auch auf das Wechselspiel jener uns so ähnlichen Empfindungskomplexe anwenden, die sich auf die Körper anderer Menschen beziehen. Die Gesetze des Ablaufes unserer Empfindungen sind uns geläufig, sind in unserer Erinnerung bereit. Indem wir diese Erinnerungsbilder auch an die Empfindungskomplexe, durch welche uns die Körper fremder Menschen gegeben sind, anknüpfen, erhalten wir die einfachste Beschreibung des Verhaltens dieser Empfindungskomplexe.

Die fremde Hand verhält sich gerade so, als ob bei Berührung mit dem Feuer auch ein Schmerzgefühl einträte, der fremde Mund, als ob Willensimpulse auf ihn wirkten. Wir haben von diesen fremden Empfindungen und Willensimpulsen nicht die mindeste Kenntnis, nur von unseren Vorstellungsbildern derselben, mit denen wir so operieren, wie mit denen unserer eigenen Empfindungen und Willensimpulse, wodurch wir brauchbare Regeln erhalten, den Verlauf unserer auf die Körper fremder Menschen bezughabenden Empfindungen zu konstruieren und vorherzusagen. Die Vorstellung fremder Empfindungen und Willensimpulse ist also bloß der Ausdruck für gewisse Gleichungen, die zwischen dem Verhalten unserer auf den eigenen und auf den Körper anderer Menschen bezughabenden Empfindungen stets erfüllt sind, sie ist im eminenten Sinne das, was wir eine (freilich nicht mechanische, sondern psychologische) Analogie nennen.

Was hat es nun für einen Sinn, wenn ich behaupte, diese fremden Empfindungen und Willensimpulse existieren ebensogut als meine eigenen? Füge ich durch diese Behauptung nicht den Tatsachen etwas Hypothetisches, Unbeweisbares hinzu? Verstößt sie nicht dagegen, daß es die Aufgabe meiner Vorstellungen ist, die Tatsachen bloß zu beschreiben?

Wer durch Betrachtungen, die den eben angestellten analog sind, nachzuweisen glaubt, daß die Materie bloß der Ausdruck gewisser, zwischen Komplexen von Sinneswahrnehmungen bestehender Gleichungen sei, und daß die Behauptung, die Materie existiere in gleicher Weise wie unsere Sinnesempfindungen, eine Überschreitung unserer Aufgabe sei, die Erscheinungen bloß zu beschreiben, der bedenke, daß er zu viel beweist, daß dann auch die Empfindungen und Willensäußerungen aller übrigen Menschen als nicht gleichberechtigt existierend wie die Empfindungen des Denkenden, sondern als der bloße Ausdruck für Gleichungen zwischen den Empfindungen des letzteren betrachtet werden müssten.

Analysieren wir das bisher Gesagte weiter. Wir haben unseren Eingangsworten entsprechend nichts bewiesen, nur geschildert; wir werden auch im folgenden nicht beweisen, sondern nur Ansichten psychologisch entwickeln können.

Die Frage, ob das Einhorn oder der Planet Vulkan in dem Sinne wie der Hirsch oder der Planet Mars existiert, hat natürlich einen ganz bestimmten Sinn, der durch das erfahrungsmäßig bekannte Verhältnis der letzteren beiden Dinge zu uns klar ist. Wenn aber jemand behaupten würde, nur seine Empfindungen existierten, die der übrigen Menschen seien bloß in seinem Denkorgane der Ausdruck für gewisse Gleichungen zwischen gewissen seiner eigenen Empfindungen (wir wollen ihn den Ideologen nennen), so würde es sich erst fragen, was er damit für einen Sinn verbindet und ob er diesen in zweckmäßiger Weise zum Ausdrucke bringt. Offenbar müßte er die fremden Empfindungen doch mit denselben analog angereihten Zeichen wie die eigenen bezeichnen, und es würde für ihn subjektiv kein Unterschied bestehen, ob er sagt, jene Empfindungen kommen fremden existierenden oder von ihm eingebildeten Menschen zu; denn für ihn sind ja die fremden Menschen in der Tat nur etwas

Vorgestelltes. Da wir aber das Wort, „nicht existieren“, anwenden, wenn wir die durch gewisse Gedankenzeichen ausgedrückten Erwartungen nicht durch die Erfahrung bestätigt finden (ich glaubte irrtümlicherweise, mein Freund habe einen Bruder, und erfahre, daß dieser nicht existiert), so wäre es unzweckmäßig, zu sagen, die übrigen Menschen außer dem denkenden existierten nicht.

Die Behauptung der Ideologie müßte vielmehr so ausgesprochen werden: Die Bezeichnung „Empfindung“ oder „Willensakt“ verwende ich als Gedankensymbol in dreifacher Weise:

1. Zur Darstellung mir unmittelbar gegebener Empfindungen und Willensimpulse.

2. Wenn mir die Verbindung der gleichen Bezeichnungen nach den gleichen Gesetzen zur Darstellung gewisser Regelmäßigkeiten zwischen meinen Empfindungskomplexen nützlich ist. (Ich unterscheide die in der zweiten Weise verwendeten Bezeichnungen, indem ich sage, sie seien die Zeichen für die Empfindungen und Willensimpulse anderer existierender Menschen.)

3. Wenn ich entweder früher irrtümlich glaubte, die Bezeichnungen würden zur Darstellung solcher in 2. erwähnter Regelmäßigkeiten nützlich sein, oder ohne dies je zu glauben, aus einem anderen Grunde (zur Übung, als Spiel) Bezeichnungen, die den für meine Empfindungen und Willensimpulse geschaffenen ganz analog sind, nach ganz analogen Gesetzen kombiniere. Ich nenne dann das die Bezeichnungen für die Empfindungen und Willensimpulse nicht existierender, bloß von mir gedachter Menschen.[1]) In dieser Form ist aber die Behauptung der Ideologie von der gewöhnlichen Ausdrucksweise nicht mehr verschieden. Punkt 2 ist der Ausdruck des kolossalen subjektiven Unterschiedes, der für mich zwischen mir und den übrigen Menschen besteht, eines Urteiles über objektive Existenz aber haben wir uns bisher vollständig enthalten.

Ebenso wie mit der Ideologie verhält es sich mit der

1) Die Existenz eines Menschen in früheren Zeiten (in der Geschichte) nehme ich an, um mir Mitteilungen oder Überreste und vorhandene Spuren seiner einstigen Tätigkeit zu erklären, d. h. gedanklich darzustellen.

Behauptung (Idealismus), daß die Materie bloß der Ausdruck für Gleichungen zwischen Empfindungskomplexen sei.[1])

Da wir die Bezeichnung „nicht existieren", für den Venusmond, den Stein der Weisen usw. reserviert haben, so wäre es offenbar unzweckmäßig, zu sagen, daß die Materie nicht existiere. Es bleibt also nur die Behauptung, daß das, was wir Vorgänge in der unbelebten Natur nennen, für uns bloße Vorstellungen zur Darstellung der Regelmäßigkeiten gewisser Komplexe unserer Empfindungen sind. In dieser Beziehung stehen also die Vorgänge in der unbelebten Natur auf derselben Stufe wie die Empfindungen und Willensimpulse anderer Menschen, während uns subjektiv die eigenen Empfindungen viel näher stehen; die Vorstellungen von unbelebten Dingen aber, die sich nachher als unrichtig erwiesen oder gleich in der Voraussicht gemacht wurden, daß wir durch sie dargestellte Empfindungskomplexe in der dargestellten Weise nicht haben, stehen mit der Vorstellung nicht existierender Menschen auf einer Stufe.

Ich hoffe, daß das bisher Entwickelte vollkommen klar ist. Wir nehmen die Empfindungen fremder Menschen nicht wahr. Es ist aber nicht eine Komplikation, sondern eine Vereinfachung unseres Weltbildes, sie zu den Empfindungskomplexen, die wir die Körper fremder Menschen nennen, hinzuzudenken. Wir bezeichnen daher diese fremden Empfindungen mit analogen Gedankenzeichen und Worten wie die eigenen (wir stellen sie vor), weil uns dies ein gutes Bild des Verlaufes vieler Empfindungskomplexe liefert, unser Weltbild vereinfacht.

Um auszudrücken, daß dies vorgestellte Empfindungen sind, sagen wir, sie sind nicht unsere eigenen, sondern die fremder Menschen. Letztere bezeichnen wir als nicht existierend, wenn die Empfindungskomplexe, zu deren Darstel-

1) Wenn man aus dieser Behauptung (dem Idealismus) die Folgerung zieht, daß keine Eigenschaft der Materie, z. B. daß diese aus unveränderlichen Teilchen bestehen muß oder daß alle Erscheinungen durch Bewegungserscheinungen darstellbar sein müssen, a priori erkannt werden könne, so unterschreibe ich diese Forderung natürlich sofort. Allein diese Folgerung schließt nicht aus, daß wir die Materie als etwas Existierendes bezeichnen. So sind z. B. gerade die Empfindungen auch etwas Veränderliches, obwohl sie das zuerst als existierend Gegebene sind.

lung ihre Vorstellung dienen würde, bei uns nicht eintreten. Das Kind glaubt wohl, auch Puppen, Bäume usw. empfänden; wir legen diesen Gegenständen keine Empfindung bei, weil dies unser Weltbild komplizieren, nicht vereinfachen würde.

Analog wie die Empfindungen fremder Menschen existieren auch die Vorgänge in der unbelebten Natur für uns bloß in unserer Vorstellung, d. h. wir markieren sie durch gewisse Gedanken und Wortzeichen, weil uns dies die Konstruktion eines zur Vorherverkündigung unserer künftigen Empfindungen tauglichen Weltbildes erleichtert. Die Vorgänge in der unbelebten Natur stehen also in dieser Beziehung den Empfindungen der fremden Menschen, die unbelebten Dinge selbst den fremden Menschen vollkommen gleich, nur daß die Zeichen und die Gesetze ihrer Verbindung jetzt von den bei Darstellung unserer Empfindungen angewandten viel verschiedener sind. „Ein unbelebtes Ding existiert oder nicht", hat dieselbe Bedeutung wie „ein Mensch existiert oder nicht". Es wäre also ein vollständiger Irrtum, wenn man glauben würde, man hätte auf diesem Wege bewiesen, daß die Materie mehr ein Gedankending ist, als ein fremder Mensch.

Wir können nun sicher unser Weltbild nur aus unseren Empfindungen und Willensimpulsen aufbauen, aber von allen unseren Empfindungen sind uns nur die eine oder die wenigen, die wir gerade augenblicklich haben, unmittelbar gegeben. Es wäre daher ein Irrtum, zu glauben, die Erinnerung, eine Empfindung gehabt zu haben, sei ein sicherer Beweis, daß sie existiert hat. Kinder von drei Jahren unterscheiden oft die Erinnerungen von ihren Phantasien noch gar nicht. Leute, die an nächtlichen Pollutionen leiden, können, wenn sie sich einer solchen des Morgens erinnern, ungewiß sein, ob sie wirklich oder geträumt war. Wäre unser Geistesleben nie regelmäßiger als im Traume, so würden wir höchstens zu gewissen Gesetzen des Wechsels der Vorstellungen, niemals zum Begriffe von etwas außer uns Existierendem gelangen.

Da ferner eine ganz matte Erinnerung kontinuierlich in völlige Vergessenheit übergeht, da uns hier und da durch einen bloßen Zufall Dinge ins Gedächtnis kommen, deren

und Willensimpulse gehabt, deren wir uns absolut nicht mehr erinnern. Es wäre aber offenbar ganz untunlich, einen gewissen Grad der Undeutlichkeit der Erinnerung an einem Vorgange festzusetzen, bei dem man plötzlich sagt, derselbe habe nicht existiert; daher müssen wir ohne weiteres vieles als existierend bezeichnen, was mit unserem heutigen Denken in keinem direkten Zusammenhange steht. Wir sehen auch, daß viele Empfindungen eintreten, trotz aller Willensimpulse, durch welche wir sie zu verhindern streben, daß es daher auch etwas gibt, was von unserem Willen unabhängig ist. Es existieren also sicher Vorgänge, die von unserem gegenwärtigen Denken und Wollen unabhängig sind, deren Existenz „objektiv richtig", aber für uns nicht erkennbar ist. Das in unserer Erinnerung Vorhandene ist zu verschiedenen Zeiten verschieden. So kommen wir zunächst zum Begriffe der objektiven, als einer von unserer augenblicklichen Erinnerung unabhängigen Existenz.

Dazu kommt noch ein neues Moment. Eine der wichtigsten Förderungen erfährt unser Weltbild durch die Mitteilungen fremder Menschen an uns, sowie durch unsere Reden an sie. Hierbei wird natürlich jeder sich als den Sprechenden (das Subjekt) von den Angesprochenen (den Objekten) unterscheiden, sich zunächst auf den von uns bisher eingenommenen Standpunkt (den subjektiven) stellen.

Wir werden passend den Begriff der Existenz und Nichtexistenz, wie wir ihn bisher erörtert haben, als den der subjektiven Existenz oder Nichtexistenz bezeichnen.

Es wäre nun unzweifelhaft unzweckmäßig, die Menschen wie folgt anzusprechen: „Ihre Empfindungen sind keineswegs gleichwertig mit den meinen. Während ich mir meiner Empfindungen unmittelbar bewußt bin, ist das, was ich Ihre Empfindungen nenne, für mich ein Gedankensymbol für gewisse Regelmäßigkeiten meiner Empfindungen. Nur weil sich gewisse Empfindungskomplexe von mir, die ich Ihre Körper nenne, konsequent so ändern, als ob sie von ganz analogen Willensimpulsen getrieben wären, wie ich sie auf andere meiner Empfindungskomplexe (meinen Körper) ausübe, so muß ich gegen Sie so verfahren, wie Ihre scheinbaren Willensimpulse gegen mich verfahren". Man würde da fortwährend Worte wiederholen, welche die anderen Menschen gar

nicht interessieren, d. h. von gar keiner oder nur ungewünschter Wirkung auf jene meiner Empfindungskomplexe sind, welche ich ihre Körper nenne.

Die Sprache muss sich daher einer anderen, für alle Menschen in gleicher Weise passenden Terminologie bedienen; „wir müssen uns", wie man sagt, „auf den objektiven Standpunkt stellen". Es zeigt sich da, daß die Begriffe, welche wir mit „Existieren" und „Nichtexistieren" verbanden, größtenteils unverändert anwendbar bleiben. Diejenigen Menschen oder unbelebten Dinge, welche ich mir nur einbilde, d. h. vorstelle, ohne daß es durch Regelmäßigkeiten von Empfindungskomplexen gefordert wurde, existieren auch für andere Menschen nicht, sie existieren „objektiv" nicht.

Dagegen zerfallen die Empfindungen, welche ich, ohne sie wahrzunehmen, als fremde, d. h. zur Erkläung von Regelmäßigkeiten meiner eigenen dienende annehme, in die vieler fremder Menschen, von denen jeder sich zu den seinigen, wie ich mich zu den meinigen, verhält.

Soll ich mich daher verständigen, so muß ich mich ihrer Sprache anschließen, in der alle als gleichberechtigt („objektiv") existierend erscheinen. Diesen Anschluß an die mir erfahrungsmäßig gegebene (weil erlernte) Sprache der anderen Menschen nenne ich im Gegensatze zu dem bisher geschilderten subjektiven den objektiven Standpunkt.

Da die Empfindungen, die ich im Wachen habe, die alleinigen Bausteine meines Denkens sind, so muß ich von ihnen ausgehen; ich muß also die Empfindungen, von denen mir alle Erinnerungen übereinstimmend anzeigen, daß ich sie im Wachen hatte, als das in erster Linie Existierende bezeichnen, wenn nicht alles Denken aufhören soll. Ebenso muß ich der Homogenität der Sprache wegen die Empfindungen der anderen Menschen bezeichnen. Das Kriterium, daß das Urteil aller Menschen über Existenz und Nichtexistenz gleich ausfällt, trifft auch für die Erscheinungen der unbelebten Natur zu. Allein hier fällt das Argument, daß mir einige außerordentlich ähnliche direkt gegeben sind, ich sie also in erster Linie als existierend denken muß, weg; es könnten daher auch alle Menschen übereinstimmend die Vorgänge in der unbelebten Natur von den psychischen dadurch unterscheiden, daß sie erstere als objektiv nicht existierend

bezeichnen. Obwohl dies schon deshalb unzweckmäßig wäre, da für mich subjektiv einerseits die existierenden fremden Menschen und die unbelebten Dinge auf der gleichen Stufe stehen und anderseits nicht existierende Menschen und nicht existierende unbelebte Dinge unter sich wieder dieselbe Rolle spielen, so daß für die subjektive Existenz Psychisches und Unbelebtes gleichberechtigt ist,[1]) so war es doch offenbar der Grund, warum manche Philosophen die Ansicht aussprachen, das Belebte, Empfindende sei allein existierend, das Unbelebte existiere erst, wenn es von einem Belebten wahrgenommen werde, während doch auch das fremde Belebte für mich nur existiert, wenn ich es wahrnehme, und nicht nur die Materie, sondern auch die fremden Menschen für mich (d. h. wenn ich mich nicht der fremden Sprache der übrigen akkommodiere), bloße Gedankensymbole, einzig der Ausdruck von Gleichungen zwischen Empfindungskomplexen von mir sind.

Natürlich wäre die Forderung abgeschmackt, die objektive Existenz der Materie zu beweisen oder zu widerlegen. Es wird sich vielmehr bloß darum handeln, weitere Gründe dafür anzugeben, daß es nicht zweckmäßig wäre, an die bisher konstatierten Tatsachen, deren wir uns aber im übrigen stets klar bewußt bleiben sollen, immerfort dadurch zu erinnern, daß wir die Materie als nicht objektiv existierend bezeichnen.

Wenn es jemandem als a priori evident erscheint, daß die Materie existiert oder nicht existiert, so kann dies natürlich nur, wofern er nicht irgend eine vorgefaßte Meinung hat, als der Ausdruck der subjektiven Überzeugung aufgefaßt werden, daß die eine oder andere Bezeichnung zu ganz lächerlichen Komplikationen führen würde. Eine solche subjektive Überzeugung kann natürlich auch auf einem Irrtum beruhen, wie wenn ein Kind sich kein anderes Weltbild denken kann als das, worin alles empfindet wie es selbst.

1) Deshalb werden die Regeln für die Handhabung des Begriffes der objektiven Existenz den entsprechenden für die Handhabung des Begriffes dessen, was wir subjektive Existenz nannten, am konformsten, wenn wir die Materie als objektiv existierend bezeichnen, und dies ist ein Hauptgrund für die Zweckmäßigkeit der letzteren Bezeichnungsweise.

Wir haben im früheren behufs Feststellung des Begriffes der objektiven Existenz an das gemeinsame Urteil aller Menschen appelliert. Man könnte sich nun andere menschenähnliche Wesen auf anderen Planeten oder höhere Intelligenzen denken, deren übereinstimmendes Urteil die objektive Existenz definitiv bestimmen würde. Allein damit wäre wenig gewonnen; wir müssen daher wieder zu unseren eigenen Erfahrungen zurückkehren.

Der Grund, weshalb wir die Empfindungen der übrigen Menschen, außer dem Denkenden als objektiv existierend bezeichneten, war allein deren vollkommene Analogie mit den in erster Linie als existierend zu bezeichnenden Empfindungen des Denkenden. Es wird sich also noch darum handeln, zu prüfen, ob die Vorgänge in der unbelebten Natur soviel Analogie mit den psychischen haben, daß es sich empfiehlt, sie ebenfalls als objektiv existierend zu betrachten, oder ob sich zwischen beiden eine so scharfe Grenze ziehen läßt, daß erstere als objektiv nicht existierend bezeichnet werden können.

Den Empfindungen der Menschen sind zunächst die der höchststehenden Tiere so vollkommen analog, daß wir notwendig auch den letzteren objektive Existenz zuschreiben müssen; wo aber ist da die Grenze? Man hört allerdings manchesmal Zweifel aussprechen, ob Insekten, ob teilbare Tiere, wie gewisse Würmer, empfänden. Doch ist eine scharfe Grenze, wo das Empfinden aufhört, unangebbar. Wir kommen schließlich zu so einfachen Organismen, daß ihre Weltbilder und Gedanken Null sind. Wollen wir nicht, was ganz unzweckmäßig wäre, den Empfindungen der unterhalb einer gewissen Stufe stehenden Tiere das Prädikat der Existenz plötzlich verweigern, so müssen wir auch dieser gedankenlosen organisierten Materie, in der Empfindungen kaum nachzuweisen sind, welche sich aber wieder zu den Pflanzen hinauf kontinuierlich abstuft, Existenz zuschreiben. Dann schiene es mir aber wieder als ein nicht gerechtfertigter unzweckmäßiger Sprung, dieses Prädikat der unorganisierten Materie zu verweigern.

Wäre nur dieses Argument für die objektive Existenz des Leblosen vorhanden, so könnte derjenige, welcher sich ganz auf den hier verteidigten Standpunkt stellt, auf den Einfall

kommen, die Annahme verschiedener Grade von Existenz vorzuschlagen, die endlich beim Leblosen auf Null herabsinkt. Allein eine solche Ausdrucksweise wäre wieder entschieden unzweckmäßig. Erstlich haben wir für dieselbe Tatsache ohnedies schon bezeichnende Begriffe; wir sagen, die Klarheit des Bewußtseins sinkt allmählich auf Null herunter. Zweitens haben wir den Begriff „Existenz" schon in einem Sinne (dem subjektiven) so festgestellt, daß er keiner Komparation fähig ist (existierender und nicht existierender fremder Mensch, zwei Marsmonde existieren, der Venusmond existiert nicht), und man muß die Bezeichnungen immer so wählen, daß man unter allen Umständen mit den gleichen Begriffen stets in gleicher Weise operieren kann, geradeso wie der Mathematiker die Begriffe der negativen und gebrochenen Exponenten so definiert, daß er damit so wie mit den ganzen Exponenten operieren kann.

Die Wörter und daher auch die Begriffe können wir ja formen, wie wir wollen. Es gab sich jemand einmal Mühe, mir zu beweisen, daß der Gymnasiallehrer wirklich ein Professor ist und daher das österreichische Gesetz, welches ihm diesen Titel zuerkennt, das allein gerechte ist. Ebenso kommt es mir vor, wenn man ein Wort wie das Wort „existieren" aus der Sprache nimmt und ohne dessen Sinn zu fixieren, sich den Kopf zerbricht, was existiert und was nicht.

Der Fortschritt im Denken muß vielmehr dadurch erzielt werden, daß man alle derartigen verfehlten Schlußformen, sowie alle Begriffe eliminiert, welche uns erfahrungsmäßig nicht fördern, sondern irreführen oder gar in Widersprüche verwickeln. Diese Schlußformen und Begriffe sind stets durch Übertragung ursprünglich zweckmäßiger Denkgewohnheiten auf Fälle, wo diese nicht hinpassen, entstanden. Man muß das Denken immer mehr anpassen und den Sinn der Wörter immer zweckmäßiger fixieren, was bei den einfachsten Begriffen nicht durch Definition, sondern bloß durch den Hinweis auf bekannte Erfahrungen geschehen kann.

Wir sehen ferner, daß jene Reihen von Empfindungen und Willensakten, welche wir einzelne Menschen nennen, immer wieder bald abbrechen, daß die einzelnen Menschen sterben, wogegen die Materie, an welche jene Geistesäußerungen gebunden waren, bleibt. Das subjektive Weltbild,

welches die Materie als den bloßen Ausdruck von Gleichungen zwischen den Empfindungskomplexen der Menschen auffaßt, sucht also zunächst das flüchtige, komplizierte, durch Bezeichnungen nachzubilden und diese Bilder erst später zur Darstellung der einfachen, beständigeren (der Materie) zu verwenden. Es faßt die ägyptischen Pyramiden, die Akropolis von Athen als bloße Gleichungen auf, welche zwischen den Empfindungen der Generationen von Jahrtausenden bestehen.

Daneben muß doch ein einfacheres (objektives) Weltbild möglich sein, welches vom Beständigeren ausgeht und das Vergängliche durch die Gesetze darstellt, welche im Beständigeren herrschen. Verfolgen wir unsere Gedankenbilder konsequent, d. h. nach den Regeln, die immer zur Bestätigung durch die Erfahrung führten, so kommen wir zum Resultate, daß der Planet Mars von ähnlicher Größe wie die Erde ist, daß darauf Festlande, Meere, Schneefelder usw. existieren, ja es scheint uns nicht unmöglich, daß es auf Planeten anderer Sonnen die großartigsten Landschaften gibt, ohne daß diese je auf ein lebendes Wesen Sinneseindrücke machen.

Für uns subjektiv ist der Ausdruck hiervon freilich nur eine geringfügige innere Vorstellungstätigkeit oder ein paar gesprochene Sätze, die mit den betreffenden kolossalen kosmischen Vorgängen nichts gemein haben. Diese Vorstellungs- oder Wortzeichen haben für uns keinen anderen Sinn als die Möglichkeit gewisser geometrischer Konstruktionen in verkleinertem Maßstabe, einer Verbindung derselben mit Zahlenreihen und irgendwelchen Analogien mit irdischen Landschaften, welche in analogen Fällen auf der Erde stets durch die Erfahrung bestätigt wurden, und ohne welche unser Weltbild inkonsequent und lückenhaft wäre. Wir schließen daraus auf die Möglichkeit uns analoger Wesen, denen diese Landschaften dasselbe wie uns die irdischen sind, mit demselben Rechte wie darauf, daß wir viele Empfindungen hatten, deren wir uns nicht mehr erinnern.[1]) Unsere Empfindungen führen

1) Es wäre denkbar, daß sich ein Gedankenbild, z. B. die Atomistik, in seiner weiteren Entwicklung so kompliziert gestaltet, daß die der ganzen Menschheit zur Verfügung stehende Zeit absolut zur Weiterentwicklung des Bildes nicht mehr ausreicht. Dann hätte die Behauptung der Möglichkeit, daß das Bild, wenn es weiter entwickelt würde, viel von der Welt darstellen könnte, noch immer einen Sinn, wenn doch sicher keine praktische Bedeutung.

uns also da von selbst ganz aus ihrem Gebiete heraus zu ins einzelne bestimmten Vorstellungen von Dingen, die von unserem Empfindungsleben soweit abstehen.

Hätte also derjenige, der die Marslandschaften bloß unter dem Gesichtspukte von Gleichungen zwischen den spärlichen, auf den Mars bezüglichen Sinneswahrnehmungen der Menschen betrachtet, nicht ein ebenso einseitiges und unzweckmäßiges Weltbild, wie jener, der nur sich, nicht auch die anderen Menschen, als existierend betrachtet? Denn etwaige Marsbewohner würden für uns ja auch erst existieren, wenn wir auf sie bezügliche Wahrnehmungen machen könnten.

Wir sehen ferner, daß unsere geistige Tätigkeit nur dann auf die eines anderen Menschen von Einfluß ist, wenn wir durch Willensimpulse Veränderungen in denjenigen Empfindungskomplexen erzeugen, denen die Materie entspricht, und wenn diese zum Körper des anderen Menschen in ein solches Verhältnis tritt, in dem auch wir Sinneseindrücke empfangen würden. Nirgends finden wir direkte Gleichungen zwischen unseren und fremden Empfindungen, alle werden durch die Materie vermittelt. Zwischen den Veränderungen dieser werden wir daher die einfachsten Gleichungen zu erwarten haben.

Die innige Verknüpfung des Psychischen mit dem Physischen endlich ist uns erfahrungsmäßig gegeben. Vermöge derselben ist es höchst wahrscheinlich, daß jedem psychischen Vorgange ein materieller Vorgang im Gehirne entspricht, d. h. eindeutig zugeordnet ist, und daß die letzteren insgesamt echte materielle Vorgänge, d. h. durch dieselben Bilder und Gesetze darstellbar sind, wie die Vorgänge in der unbelebten Natur. Dann müßten aber aus den zur Darstellung der Gehirnvorgänge dienenden Bildern auch alle psychischen Vorgänge vorhergesagt werden können. Es müßten also alle psychischen Vorgänge aus den Bildern, welche zur Darstellung der unbelebten Natur dienen, ohne Änderung der dort geltenden Gesetze vorausgesagt werden können. Die Ansicht, daß dies richtig sei, wollen wir die Ansicht A nennen.

Alle diese Umstände machen es im höchsten Grade wahrscheinlich, daß ein Weltbild (das objektive) möglich ist, in welchem die Vorgänge in der unbelebten Natur nicht nur die

gleiche, sondern sogar eine viel umfangreichere Rolle spielen, als die psychischen, in welchem sich die letzteren zu den ersteren nur wie spezielle Fälle zum allgemeinen verhalten. Wir werden zwar nicht bestrebt sein, die Wahrheit oder Falschheit des einen oder anderen Weltbildes zu beweisen, wohl aber nach der Zweckmäßigkeit des einen oder anderen zu diesem oder jenem Zwecke fragen, während wir beide nebeneinander bestehen lassen.

Haben wir bisher mit der Entstehung unseres Weltbildes begonnen und dasselbe rein synthetisch konstruiert, so wollen wir jetzt behufs Darstellung des objektiven Weltbildes den umgekehrten Weg einschlagen, welcher, wo es sich um möglichst exakte Herausschälung der Begriffe handelt, in der Regel der zweckmäßigste ist. Wir geben nur möglichst leicht verständliche Regeln, wie dieses Weltbild zu konstruieren ist, ohne uns darum zu kümmern, wie wir subjektiv zu diesen Regeln gelangt sind, und erblicken bloß in der Übereinstimmung des Weltbildes mit den Tatsachen dessen Rechtfertigung. Was früher das erste war, wird jetzt gerade das letzte.

Das Gehirn betrachten wir als den Apparat, das Organ zur Herstellung der Weltbilder, welches sich wegen der großen Nützlichkeit dieser Weltbilder für die Erhaltung der Art entsprechend der Darwinschen Theorie beim Menschen geradeso zur besonderen Vollkommenheit herausbildete, wie bei der Giraffe der Hals, beim Storch der Schnabel zu ungewöhnlicher Länge. Mittels der Bilder, durch welche wir uns die Materie dargestellt haben (ob sich hierzu die Bilder der heutigen Automistik oder andere als die besten bewähren, ist dabei gleichgültig), suchen wir uns jetzt die materiellen Vorgänge im Gehirne darzustellen und dadurch zugleich zu einer besseren Anschauung der psychischen zu gelangen, sowie zu einer Darstellung des Mechanismus,[1]) welcher sich da im Menschenkopfe entwickelt hat und die Darstellung so komplizierter und zutreffender Bilder ermöglicht.

Sobald wir uns der Ansicht *A* anschließen, müssen wir annehmen, daß die Bilder und Gesetze, die zur Darstellung

1) Das Wort Mechanismus soll natürlich nicht präjudizieren, daß die Gesetze der heutigen Mechanik zu seiner Darstellung genügen müssen.

der Vorgänge in der unbelebten Natur dienen, ausreichen, um auch alle psychischen Vorgänge eindeutig darzustellen, wir sagen kurz: die psychischen Vorgänge sind mit gewissen materiellen Vorgängen im Gehirne identisch (Realismus). Es wurde oft die Meinung ausgesprochen, daß dies unmöglich sei. Die Berechtigung dieser Meinung können wir natürlich wieder nur an dem erfahrungsmäßig Gegebenen prüfen.

Erfahrungsmäßig gegeben ist uns, daß jede Empfindung von jeder anderen irgendwie verschieden ist, daß einige Empfindungen einander ähnlicher, andere einander unähnlicher sind, daß also die einen mehr, die anderen weniger untereinander gemein haben, sowie in welcher Sukzession sie zeitlich verlaufen. Über die Qualität, die edlere oder unedlere, materielle oder immaterielle Natur der Empfindungen wissen wir direkt gar nichts durch die Erfahrung. Daher begreife ich es gar nicht, wenn man sagt, wir empfänden (oder wüßten a priori oder seien uns dessen unmittelbar bewußt oder was sonst noch), daß die Empfindungen etwas einfaches oder daß sie qualitativ von den Vorgängen in der unbelebten Natur verschieden oder gar, daß sie edler, erhabener usw. seien. Glaubte man doch einmal sogar zu empfinden, daß das ganze menschliche Ich etwas einfaches sei. Im Gegenteile, gerade die proteusartig wechselnde, schwer zu definierende Ähnlichkeiten zeigende Natur der verschiedenen Empfindungen macht es wahrscheinlich, daß deren Verlauf nicht durch die einfachsten, sondern nur durch sehr komplizierte Gedankenbilder genau darstellbar ist, wie die verschiedenen physikalischen und chemischen Vorgänge im Gehirne.[1]) Mehr aber wollen wir damit ja wieder nicht ausdrücken, wenn wir sagen, die Gedanken sind gewisse Vorgänge im Gehirne oder gar ein Spiel gewisser Atome.

Wenn man sagt, daß die Materie oder gar die Atome empfänden, so hat man sich natürlich ganz falsch ausgedrückt. Man muß vielmehr sagen, daß man es nicht für unmöglich

1) D. h. bei richtiger Auffassung des Begriffes des Kontinuums ein Spiel der Atome desselben, worunter man sich freilich nicht materielle Punkte denken muß, sondern vielleicht Vektoren oder wer weiß was. Auch müssen die Atome nicht notwendig unveränderlich sein. (Vgl. diese Sitzungsberichte, Bd. 105, Nov. 1896; Wied. Ann., Bd. 60, S. 231, 1897.

hält, daß die Gesetze des Wechsels der Empfindungen durch das Bild materieller (physikalischer, chemischer, elektrischer) Vorgänge im Gehirne am genauesten darstellbar sind.

Die kompliziertesten Systeme materieller Körper, deren Wirkungsweise wir einigermaßen durchschauen, sind etwa eine Uhr oder eine Dynamomaschine. Wir glauben daher, daß wir, wenn unsere seelischen Prozesse durch die Bilder materieller Vorgänge im Gehirne erschöpfend darstellbar wären, ebenso tot und teilnahmslos, wie diese Maschinen sein müßten. Dies ist offenbar der Grund, warum diese Ansicht manchem öde und trostlos erscheint. Doch wie ich glaube ohne jede Berechtigung; denn gerade die Entstehung heftiger Schmerz- und Lustgefühle erklärt sich aus der Darwinschen Theorie, weil diese behufs Erzielung der zur Erhaltung der Art notwendigen Energie der Reaktionen erforderlich sind. Die ganze Intensität, Mannigfaltigkeit und Reichhaltigkeit des Geistes- und Gemütslebens kann ja nicht dadurch bedingt sein, daß die betreffenden Vorgänge qualitativ edler und erhabener wären, als die in toten Maschinen, sondern bloß dadurch, daß sie reicher und mannigfaltiger sind, sowie daß unser eigenes Ich derselben Gattung von Wesen angehört. Da man doch nicht bezweifeln wird, daß auch die geistigen Funktionen nach ganz bestimmten Gesetzen erfolgen, so könnte ich darin nichts Entmutigendes finden, wenn diese mit den Gesetzen identisch wären, nach denen sich gleich komplizierte materielle Vorgänge abspielen. Für unser subjektives Gefühl ist eben dasjenige edel und erhaben, was unsere Gattung fördert und erhebt, objektiv existieren diese Begriffe nicht. Wenn daher materielle Vorgänge ebenso mannigfaltig und kompliziert sein können wie unsere geistigen, woran zu zweifeln kein Grund ist, so sehe ich nicht ein, wie durch die Behauptung, daß sich durch das Gedankenbild materieller Vorgänge im Gehirne unsere psychischen Tätigkeiten erschöpfend darstellen ließen, der edle, erhabene Charakter der letzteren oder unser leidenschaftliches Interesse für dieselben irgendwie tangiert werden könnte. Wir wissen, daß eine Uhr nicht empfinden kann, d. h. daß sich durch einen so einfachen Mechanismus nicht den Empfindungen einigermaßen ähnliches darstellen läßt. Aber was will man damit ausdrücken, wenn man sagt, aus der qualitativen Ver-

schiedenheit unserer Empfindungen und der materiellen Vorgänge folge, daß der Ablauf der ersteren überhaupt nie durch eine noch so komplizierte Zusammenstellung derjenigen Vorstellungsbilder dargestellt werden könnte, welche uns zugleich die Vorgänge in der unbelebten Natur darstellen. Wenn man sagt, die unbelebte Welt sei materiell, ausgedehnt usw., so meint man doch nur, daß sie durch die Gedankenbilder der Geometrie und mathematischen Physik darstellbar ist. Wenn man daher umgekehrt behauptet, die Empfindungen seien immateriell, unausgedehnt usw., so hat man doch nur das zu Beweisende, daß sie durch beliebig komplizierte Kombinationen dieser Bilder nicht darstellbar seien, nur vorweggenommen. Daß die Darstellung des Zustandekommens der Empfindungen durch komplizierte, der Physik und Chemie entnommene Bilder bis heute noch nicht gelungen ist, beweist doch nicht, daß sie prinzipiell unmöglich ist? Unser Urteil über die Darstellbarkeit einer Erscheinungsgruppe durch gewisse Bilder ist naturgemäß so lange ein vollständig schwankendes und unbestimmtes, als diese Darstellung nicht wirklich vollständig bis ins kleinste Detail gelungen ist. Die Bilder der Geometrie und Mechanik wurden gemacht, um die gewöhnlichen Gleichgewichts- und Bewegungserscheinungen darzustellen, und dies ist so vollständig gelungen, daß uns die Möglichkeit, alle Erscheinungen des betreffenden Gebietes so darzustellen, nicht zweifelhaft ist. Alle anderen rein physikalischen Vorgänge haften so innig an materiellen Trägern, daß die Notwendigkeit, die Bilder der Geometrie und Mechanik zu ihrer Erklärung teilweise heranzuziehen, wohl außer Zweifel ist. Ob aber diese Bilder überall ausreichen, darüber sind die Ansichten noch sehr geteilt. Schon die Wärmeerscheinungen bieten manche Züge, die wenigstens auf den ersten Blick nicht bloß räumliche und zeitliche, sondern anders geartete, sagen wir qualitative Änderungen der Körper zu sein scheinen, und während einige Physiker glauben, daß sich dieselben am besten unter dem Bilde von Bewegungen der kleinsten Teile darstellen lassen, scheint dies anderen unwahrscheinlich. Noch zweifelhafter ist dies bezüglich der Erscheinungen des Elektromagnetismus, der strahlenden Energie und der Chemie. Ja, man hört sogar die Ansicht, daß zur Darstellung der letzteren Erscheinungen selbst die Bilder der

Geometrie erweitert werden müßten. Es zeigen also auch die rein physikalischen Tatsachen untereinander keineswegs vollständige Homogenität. Aber wer wollte behaupten, daß hierin ein strenger Beweis liege, daß sie qualitativ untereinander so verschieden seien, daß sie sicher prinzipiell durch die Bilder der Mechanik nicht darstellbar sind?

Die psychischen Erscheinungen stehen den materiellen vielleicht weit ferner als die termischen oder die elektromagnetischen den rein mechanischen; daß aber die beiden ersteren qualitativ, die drei letzteren dagegen nur quantitativ verschieden seien, scheint mir reines Vorurteil zu sein.

Macht man die Annahme, welche wir die Annahme *A* genannt haben, daß jedem psychischen Vorgange ein gewißer Gehirnvorgang eindeutig entspricht, und daß alle Gehirnvorgänge echt materiell, d. h. durch die Bilder und Gesetze darstellbar sind, welche zur Darstellung der Vorgänge in der unbelebten Natur dienen, so müßte im Gegenteile das Entstehen und der Verlauf der psychischen Vorgänge durch diese Gesetze eindeutig bestimmbar, d. h. darstellbar sein.

Wir wollen uns eine Maschine[1]) als möglich denken, die so wie unser Körper aussieht und sich auch so verhält, und bewegt. In ihrem Inneren soll ein Bestandteil sein, welcher durch die Wirkung des Lichtes, des Schalles usw. mittelst Organen, die genau wie unsere Sinnesorgane und die damit verknüpften Nerven gebaut sind, Eindrücke empfängt. Dieser Bestandteil soll die weitere Fähigkeit haben, Bilder dieser Eindrücke zu bewahren und durch Vermittlung dieser Bilder Nervenfasern so anzuregen, daß sie Bewegungen erzeugen, die ganz den Bewegungen unseres Körpers gleichen. Unbewußte Reflexbewegungen wären dann natürlich solche, deren Innervationen nicht so tief ins Zentralorgan eindringen, daß daselbst Erinnerungsbilder entstehen. Man sagt, es sei a priori klar, daß sich diese Maschine zwar äußerlich wie ein Mensch verhält, aber nichts empfinden würde. Sie würde die ver-

1) Unter Maschine verstehe ich natürlich nichts weiter als ein System, das aus denselben Bestandteilen nach denselben Naturgesetzen aufgebaut ist, wie die unbelebte Natur, nicht aber ein solches, das durch die Gesetze der heutigen analytischen Mechanik darstellbar ist; denn wir wissen noch keineswegs, ob die gesamte unbelebte Natur durch diese darstellbar ist.

brannte Hand zwar ebenso rasch zurückziehen wie wir, aber dabei keinen Schmerz empfinden. Ich glaube, man sagt dies bloß, weil man sich doch nur eine Uhr, nicht eine so komplizierte Maschine denkt, analog wie physikalisch ungebildete Leute zu mir oft sagten, es sei ihnen (wir würden sagen a priori) klar, daß man im Weltraume draußen noch wissen müsse, was oben und unten sei, oder daß man, wenn die Erde sich drehte, es spüren müßte. Diese Leute ververmochten sich eben nicht in den Weltraum hinauszudenken, sich nicht die kosmischen Verhältnisse vorzustellen.

So zwingend solche Urteile für den Befangenen sind, so wenig beweisen sie. In der oben fingierten Maschine würde jede Empfindung als etwas Besonderes existieren. Ähnliche Empfindungen hätten vieles, unähnliche weniger gemein. Ihr zeitlicher Verlauf wäre der durch die Erfahrung gegebene. Freilich wäre keine Empfindung etwas einfaches, jede wäre identisch mit einem komplizierten materiellen Vorgange; allein für denjenigen, der den Bau der Maschine nicht kennt, wären die Empfindungen wieder nicht durch Länge und Maße meßbar, er würde sie durch räumliche und mechanische Bilder ebensowenig darstellen können, als wir unsere Empfindungen. Mehr aber ist uns durch die Erfahrung nicht gegeben. Es wäre also durch unsere Maschine alles realisiert, was uns erfahrungsmäßig vom Psychischen gegeben ist. Alles übrige denken wir uns, wie mir scheint, willkürlich selbst dazu. Unsere Maschine würde geradeso gut wie jeder Mensch sagen, sie sei sich jeder Existenz bewußt (d. h. sie habe Gedankenbilder für die Tatsache ihrer Existenz). Niemand könnte beweisen, daß sie sich ihrer selbst weniger bewußt wäre als ein Mensch. Ja, man könnte das Bewußtsein gar nicht irgendwie so definieren, daß es dieser Maschine weniger zukäme als dem Menschen.

Wir haben in den letzten Sätzen wieder ganz den einseitigen Standpunkt zum Ausdrucke gebracht und sind ganz ins Fahrwasser der alten Terminologie geraten, die man natürlich immer anwenden kann, sobald man sich das richtige dabei denkt. Um Mißverständnisse auszuschließen, wollen wir nochmals erklären, daß die zuletzt geschilderten Betrachtungen eben nur zeigen sollen, wie man sich von einem bestimmten Standpunkt aus das Weltbild konstruieren kann. Die

ideale Natur des Menschengeistes wird dadurch nicht tangiert. Tatsächlich bleibt alles beim alten. Wir erklären es nur für möglich, daß dieselben Gedankensymbole und Gesetze, mittelst deren wir die besten Bilder der Vorgänge in der unbelebten Natur erhalten, in verwickelten Verbindungen auch die einfachsten und klarsten Bilder der psychischen Vorgänge geben können.

Wenn man sich dieser Ansicht (also dem, was wir die Ansicht *A* nannten) anschließt, so sind die Vorgänge in der unbelebten Natur so wenig qualitativ von denen in der belebten verschieden, daß sich irgend eine Grenze überhaupt nicht ziehen läßt und es vollkommen untunlich wäre, bloß den Empfindungen, nicht auch den Vorgängen in der unbelebten Natur objektive Existenz zuzuschreiben. Eher könnte es dann etwa fraglich sein, ob geträumte Empfindungen oder bloß die Erinnerungen daran beim Erwachen objektiv existieren, welche Frage sich aber möglicherweise durch die Physiologie des Gehirns entscheiden ließe.

Die synthetische Schilderung des Zustandekommens der Gedanken bleibt natürlich nach wie vor folgende: Wir konstruieren zu allererst Gedankenbilder der uns unmittelbar bewußten Empfindungen; dann kommen wir zu Gedankensymbolen für diejenigen Gesetzmäßigkeiten unserer Empfindungskomplexe, welche zur Vorstellung der Materie führen. Indem wir nach dieser Methode die materiellen Vorgänge im Gehirne (die wir möglicherweise einmal auch objektiv, z. B. mittelst Röntgenstrahlen beobachten könnten) darstellen, hoffen wir zu einer besseren quantitativen Übersicht über die psychischen Vorgänge zu gelangen, von denen wir ausgingen. Aber würden wir da nicht gerade beweisen, daß das, was wir mit den Röntgenstrahlen sehen, etwas ganz anderes ist als unsere Empfindung? Mit nichten; wir hätten nun einen neuen Zusammenhang zwischen verschiedenen Empfindungen nachgewiesen, denen, die wir schon lange kennen, und gewissen Gesichtsbildern, welche erst beim Blicken auf einen Schirm entstehen, der von Röntgenstrahlen getroffen wird, die unseren Kopf passiert haben.

Will man sich dagegen der Ansicht A nicht anschließen, so muß man entweder annehmen, daß nicht alle Vorgänge im Gehirne durch die Bilder und Gesetze darstellbar sind,

welche zur Darstellung der unbelebten Natur dienen, oder daß es psychische, also durch diese Bilder und Gesetze nicht darstellbare Vorgänge gibt, denen keine Gehirnprozesse entsprechen, was durch die Erfahrung zwar unwahrscheinlich gemacht, aber nicht absolut widerlegt wird. Dann würde allerdings die Kluft zwischen Belebtem und Leblosem tiefer. Doch stehen dem Idealismus noch immer die schon erwähnten Schwierigkeiten entgegen, z. B. die Überbrückung dieser Kluft durch den allmählichen Übergang zwischen Belebtem und Unbelebtem, die dominierende Rolle, welche das Unbelebte in jedem Weichbilde wird spielen müssen, der gegenüber das Psychische nur gewissermaßen als Anhang erscheint. So darf die Vorstellung des Denkenden selbst freilich nicht hinweggelassen werden, wenn das Weltbild nicht verschwinden soll. Auch die ihm nahestehenden Personen haben enormen Einfluß auf sein Weltbild, und alle Generationen vorher waren die Vorbedingung seiner eigenen Entwickelung. Allein alle Lebewesen aller außerirdischen Himmelskörper, neun Zehntel und mehr von allem Belebten, was je auf der Erde war, könnte man fast ohne Störung des Weltbildes als nicht gewesen denken. Man kann auch plötzlich alles Belebte des größten Teiles der Erde vernichtet denken, ohne daß wir es in der ersten Zeit merken würden, wogegen bei plötzlicher Vernichtung eines Teiles der Erde oder Sonne (ja selbst des Mondes) alles aus den Bahnen wiche.

Der Idealist vergleicht die Behauptung, daß die Materie ebenso wie unsere Empfindungen existiere, mit der Meinung des Kindes, daß der geschlagene Stein Schmerz empfinde, der Realist die, daß man sich nie vorstellen könne, wie Psychisches durch Materielles oder gar durch ein Spiel von Atomen dargestellt werden könne, mit der eines Ungebildeten, welcher behauptet, die Sonne könne nicht 20 Millionen Meilen von der Erde entfernt sein, denn das könne er sich nicht vorstellen. Wie die Ideologie nur ein Weltbild für einen Menschen, nicht für die Menschheit ist, so scheint mir, wenn wir auch die Tiere, ja das Universum einbegreifen wollen, die Ausdrucksweise des Realismus zweckmäßiger als die des Idealismus.

So kann man zwar aus schon gewonnenen Einsichten oder Erfahrungen neue Seiten derselben beweisen, die ein-

fachsten Vorbedingungen aller Erfahrungen und Gesetze alles Denkens aber, wie ich glaube, bloß schildern und beschreiben. Hat man dies eingesehen, so verschwinden alle Widersprüche, auf die man ehemals stieß, wenn man gewisse Fragen beantworten wollte, z. B. die Frage, ob Komplexe von unausgedehnten Atomen ein ausgedehntes liefern oder gar, ob solche Komplexe empfinden könnten, ob wir zur Kenntnis fremder Empfindungen oder gar der Existenz nicht empfindender Wesen gelangen können, ob Materie und Seele aufeinander wirken können, ob beide ohne Wechselwirkung parallel nebeneinander sich verändern oder ob gar nur die eine oder die andere existieren. Man sieht ein, daß man nicht wußte, wonach man eigentlich fragte.

Hierher gehört auch die Frage nach der Existenz Gottes. Gewiß ist es richtig, daß nur ein Wahnsinniger die Existenz Gottes leugnet, aber ebenso richtig ist es, daß alle unsere Vorstellungen von Gott nur unzureichende Antropomorphismen sind, daß also das von uns als Gott vorgestellte in dieser Weise, wie wir es uns vorstellen, nicht existiert. Wenn daher der eine sagt, ich bin von der Existenz Gottes überzeugt, der andere, ich glaube nicht an Gott, so denken sich vielleicht beide dabei, ohne es zu ahnen, genau dasselbe. Wir dürfen nicht fragen, ob Gott existiert, bevor wir uns darunter etwas Bestimmtes vorstellen können, sondern vielmehr, durch welche Vorstellungen wir uns dem obersten, alles in sich fassenden Begriffe nähern können.

13.

Röntgens neue Strahlen.[1])

Herrn Professor W. C. Röntgen in Würzburg gelang im verflossenen Monate die Anstellung der im Nachfolgenden besprochenen Versuche. Bei ihrer Merkwürdigkeit und Neuheit ist es kaum zweifelhaft, daß ihm die Auffindung eines ganz neuen Agens in der Natur gelungen ist.

Bevor ich Röntgens wissenschaftliche Tat erörtere, will ich einige Vorbemerkungen machen. Denn aus verschiedenen Zeitungsartikeln, die mir zu Gesichte kamen, vermute ich, daß die Grundbegriffe der Wellenlehre nicht jedermann geläufig sind. Auf die Gefahr hin, ein pedantischer Schulmeister gescholten zu werden, der nicht aus dem gewohnten Vorlesungsjargon herauszubringen ist, erlaube ich mir, hierüber einiges beizufügen.

Wirft man in einen spiegelglatten Teich einen Stein, so wandern bekanntlich von der Erregungsstelle aus Wellen geradlinig auf der Oberfläche des Teiches nach allen Richtungen fort. Dieselben kommen dadurch zustande, daß jedes Wasserteilchen sich vertikal auf und ab bewegt; also nicht die Wasserteilchen, sondern bloß ein Bewegungszustand wandert auf der Fläche des Teiches von der Erregungsstelle aus fort. Die Richtung dieses Fortwanderns nennt man Fortpflanzungsrichtung, die Richtung der Bewegung eines Wasserteilchens die Schwingungsrichtung. Da die erstere hier horizontal längs des Teiches gerichtet, die letztere aber vertikal auf- und abwärts gerichtet ist, so nennt man diese Wellen transversal. Wäre die Schwingungsrichtung dieselbe wie die Fortpflanzungsrichtung, so hätten wir longitudinale Wellen.

1) Aus Elektro-Techniker, Organ für angewandte Elektrizität. XV. Jahrg. XIV. Band, S. 385. 15. Jänner 1896.

Die Geschwindigkeit, mit welcher der Bewegungszustand fortwandert, heißt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, die Zeitdauer der Schwingung eines Wasserteilchens die Schwingungsdauer. Da die Vorstellung eines Wasserteilchens immerhin schon eine gewisse Abstraktion erfordert, will ich ein noch drastischeres Bild wählen. Auf einem großen Platze wartet eine unabsehbare Menge von Männern vor der Tür eines Gebäudes auf das Erscheinen eines hohen Würdenträgers. Plötzlich tritt derselbe aus dem Innern des Gebäudes heraus an die Tür. Die Zunächststehenden bemerken es und ziehen den Hut, die weiter Zurückstehenden sehen nicht die hohe Persönlichkeit, aber das Grüßen der Vordermänner und ziehen etwas später den Hut, noch später die noch weiter Zurückstehenden usf. So pflanzt sich der Vorgang des Hutabziehens von der Tür aus nach allen Richtungen geradlinig durch die ganze Menschenmenge fort.

Bewegte jeder seinen Hut vertikal aufwärts und wieder abwärts, so würden die Hüte eine transversale Wellenbewegung ausführen; würde dagegen jeder seinen Hut gegen den Punkt hin, wo der Würdenträger erschien und dann wieder zurückschwenken, so hätten wir longitudinale Wellen. Würde jeder den Hut bloß einmal heben und dann wieder ruhig auf den Kopf setzen, so hätten wir eine einzige Welle. (Beispiel ein einziger Knall.) Die ganze Breite derselben, von demjenigen angefangen, der gerade zum Hute greift, bis zu dem, der gerade wieder den Hut auf den Kopf zurücksetzt, heißt die Wellenlänge. Sie ist offenbar um so größer, je rascher der Hintermann im Grüßen dem Vordermanne folgt (je größer die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen ist). Aber auch je längere Zeit bei jedem Manne zwischen dem ersten Lüften des Hutes und dem Wiederaufsetzen vergeht. (Je größer die Schwingungsdauer ist.) Daher könnten die Röntgenschen Wellen bei sehr kleiner Schwingungsdauer größere Wellenlängen haben, wenn die Fortpflanzungsgeschwindigkeit entsprechend größer wäre. Würde jeder den Hut nicht bloß einmal hin und her bewegen, sondern oftmals in gleichmäßigem Tempo hin- und herschwenken, so hätte man einen ganzen Wellenzug, wie derselbe bei musikalischen Tönen, beim Lichte usw. vorkommt.

Von einem tönenden Körper werden nämlich die um-

gebenden Luftteilchen abwechselnd fortgestoßen und wieder herbeigezogen. Dadurch, daß sich diese Bewegung von Teilchen zu Teilchen fortpflanzt, entstehen in der Luft fortwandernde Verdichtungen und Verdünnungen, welche den Schall bilden, der also eine longitudinale Wellenbewegung ist. Das sichtbare, ultrarote und ultraviolette, Licht, sowie die Hertzschen Wellen sind Transversalwellen in einem viel feineren Körper als Luft, dem hypotetischen Lichtäther.

Die Gelatine (Aspik) ist ein Körper, welcher leicht transversal, viel schwerer longitudinal schwingt, wie schon dessen stete zitternde Bewegung verrät. Ihrer Konstitution scheint die des Lichtäthers besonders verwandt. Als ich in England wegen der minderen Qualität der dortigen Mehlspeisen zum Nachtische immer süßes Aspik aß, wurde ich verspottet, ich dächte auch beim Essen immer an den Lichtäther. Longitudinale Schwingungen wären im Aspik nicht unmöglich, hätten aber außerordentlich große Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Die analogen Schwingungen des Äthers könnten die Röntgenschen Wellen und die Kathodenstrahlen sein.

Geißler in Deutschland und Gassiot in England hatten vor langer Zeit allseitig verschlossene, mit einem sehr verdünnten Gas angefüllte Glasröhren hergestellt, in die an jedem Ende ein Platindraht (Elektrode) eingeschmolzen war. Diese Röhren heißen in Deutschland Geißlersche Röhren. Bringt man die beiden Platindrähte mit den beiden Polen einer Elektrizitätsquelle von hoher Spannung in Berührung, so durchsetzt die Elektrizität das Gas und erzeugt dabei die wohlbekannten Lichterscheinungen.

Professor Hittorf hat zuerst im Innern der Glasröhre an diejenige Elektrode, durch welche die negative Elektrizität eintritt, ein kleines ebenes oder schwach gekrümmtes Metallblech (die Kathode) befestigt. Wenn dann das Gas besonders stark verdünnt ist, so bleibt dasselbe fast vollkommen dunkel, nur vis-à-vis der Kathode sieht man auf der Röhre einen (je nach der chemischen Zusammensetzung des Glases) mit gelbem, grünem oder bläulichem Lichte leuchtenden Fleck (den Fluoreszenzfleck). Es hat ganz den Anschein, als ob von der Kathode geradlinige Strahlen (Kathodenstrahlen) ausgingen, die selbst unsichtbar sind, aber die Glaswand an der Stelle, wo sie dieselbe treffen, zum Leuchten (Fluores-

zieren) bringen. Befindet sich im Innern der Glasröhre im Wege der Kathodenstrahlen ein beliebiger Körper, so fängt er die Strahlen auf und wirft einen deutlichen Schatten auf die Glaswand.

Eine Röhre, welche diese Erscheinungen zeigt, nennt man eine Hittorfsche oder Crookessche Röhre. Crookes variierte die Hittorfschen Versuche in eleganter Weise und stellte die Hypothese auf, daß die Kathodenstrahlen aus materiellen Teilchen bestehen, welche vom Metallblech in geradlinigen Bahnen fortgeschleudert werden. (Emissionstheorie der Kathodenstrahlen.) Die deutschen Gelehrten (E. Wiedemann) vertraten die Ansicht, daß von der Kathode eine Wellenbewegung ausgeht (Kathodenwellen), welche große Ähnlichkeit mit den Lichtwellen hat. Geradeso wie die Lichtstrahlen die Richtungen bezeichnen, in der sich die Lichtwellen fortpflanzen, so bezeichnen die Kathodenstrahlen die Richtung, in der die Kathodenwellen fortwandern.

Alles dies war bekannt. Da plante Röntgen einen sehr heiklen Fluoreszenzversuch. Um das schwache zu erwartende Licht sehen zu können, war das Zimmer sorgfältig abgedunkelt. Auch die Hittorfsche Röhre, welche er benützte, war ganz mit einem Gehäuse von schwarzem Karton umgeben, damit das von ihr ausgehende Licht das Auge des Beobachters nicht störe. Der Karton war so dick, daß von darauffallenden Sonnen- oder elektrischem Bogenlicht nicht eine Spur hindurch gelassen wurde. In der Nähe befand sich ein mit Bariumplatinzyanür bestrichener Schirm, wie solche fortwährend zu Fluoreszenzversuchen benützt werden. Diese Substanz hat nämlich die Eigenschaft, daß sie, sobald sie durch gewöhnliche, besonders violette Lichtstrahlen oder auch Kathodenstrahlen getroffen wird, lebhaft in weißer Farbe leuchtet (fluoresziert).

Der in der Nähe befindliche fluoreszierende Schirm leuchtete nun jedesmal lebhaft auf, sobald die Elektrizität durch die Hittorfsche Röhre ging, obwohl letztere in einer absolut undurchsichtigen Hülle eingeschlossen war und daher für das Auge absolut unsichtbar blieb. Es mußten daher von der Röhre Strahlen ausgehen, welche den für das Licht undurchlässigen schwarzen Karton, mit Leichtigkeit durchdringen. Dieselben machen auf die Netzhaut des Auges absolut keinen

Eindruck, können daher auch keine Lichtempfindung erregen, trotzdem erzeugen sie auf dem Schirme lebhafte Fluoreszenz. Röntgen überzeugte sich, daß diese Strahlen, welche wir wohl Röntgensche Strahlen nennen dürfen, nicht von der ganzen Hittorfschen Röhre ausgehen, sondern bloß von derjenigen Stelle derselben, wo die Glaswand auf der inneren Seite von den Kathodenstrahlen getroffen wird.

Bringt man zwischen diese Stelle und den Schirm irgend einen Körper, z. B. ein Buch von etwa 1000 Seiten, ein dickes Holz, eine Metallplatte, so zeigt sich ein deutlicher, aber nicht vollkommen dunkler Schatten des Körpers auf dem Schirme; die Röntgenschen Strahlen gehen also durch alle Körper, auch durch solche, welche für Licht und für die Kathodenstrahlen vollkommen undurchdringlich sind, hindurch; aber sie werden in denselben geschwächt (absorbiert), und zwar werden sie im allgemeinen umsomehr geschwächt, je dicker die Schicht des Körpers ist und aus je dichterem Stoffe er besteht. Bleiplatten lassen schon bei 2 cm Dicke fast nichts mehr hindurch.

Nicht nur Bariumplatinzyanür, sondern fast alle fluroeszierenden Körper: Glas, besonders das grüne Glas (Uranglas), Kalkspat, Quarz werden durch die Röntgenschen Strahlen zur Fluoreszenz angeregt. Aber eine der merkwürdigsten Eigenschaften der neuen Strahlen ist es, daß sie auf die in der Photographie gewöhnlich benützten Gelatin-Trockenplatten geradeso wie gewöhnliche Lichtstrahlen wirken, wobei Röntgen freilich die Frage offen läßt, ob sie direkt wirken oder nicht, vielleicht bloß in der Gelatine Fluoreszenzlicht erregen, welches erst auf das Chlorsilber der Trockenplatte wirkt.

Röntgen konnte daher alle Schattenbilder, die er auf dem Schirme sah, photographieren, indem er sie längere Zeit auf gewöhnliche Trockenplatten fallen ließ und dann in der üblichen Weise hervorrief und fixierte. Das Eigentümliche dabei ist, daß die Holzkassette, welche die Trockenplatte sonst vor der Lichteinwirkung schützt, hier nicht geöffnet zu werden braucht, da sie ja von den Röntgenschen Strahlen ungehindert durchdrungen wird. Dagegen kann die Trockenplatte auch nicht durch Schließen der Kassette, sondern nur durch Entfernung aus dem Bereiche der Strahlen vor deren weiterer Einwirkung geschützt werden.

Da alle Körper für die Röntgenschen Strahlen durchlässig sind, so unterscheiden sich die mittelst derselben aufgenommenen Photographien wesentlich von den gewöhnlichen. Die Photographie einer Metallplatte zeigt deutlich alle in deren Innern vorhandenen, beim Walzen oder Gießen der Platte etwa entstandenen Inhomogenitäten. Überhaupt erscheint nicht die Oberfläche der Körper photographiert, sondern alle in ihrem Innern befindlichen dichteren oder sonst für die Röntgenschen Strahlen weniger durchlässigen Teile. So sieht man von dem im vollkommen verschlossenen Etui photographierten Gewichtssatze deutlich jedes im Etui eingeschlossene Messinggewicht. Der in einer Holzschachtel befindliche Draht bildet sich mit allen seinen Windungen naturgetreu ab. Ebenso der in einer dünnen Metallbüchse eingeschlossene Kompaß. Besonders schön sieht man daran die Ziffern und Teilstriche des Teilkreises, da die Farbe, womit dieselben bestrichen sind, für die Strahlen ziemlich wenig durchlässig ist. Glücklicherweise sind Tinte und Druckerschwärze stark durchlässig, sonst könnte man das Innere jedes Briefes photographieren, ohne ihn zu öffnen. Natürlich konnten auch Gegenstände anstandslos photographiert werden, die sich in einem anderen Zimmer hinter einer vollständig geschlossenen Türe befanden.

Doch wie nützlich die neue Erfindung zu werden verspricht, zeigt ein anderes Objekt. Röntgen stellt seine Hand in den Weg der von ihm entdeckten Strahlen und läßt deren Schatten auf die photographische Trockenplatte fallen. Da die Weichteile der Hand sehr durchlässig sind, so erscheinen sie nur als schwacher Hauch; dagegen erscheinen die Knochen weit dunkler und mit solcher Deutlichkeit, daß man die Hand eines Skelettes vor sich zu haben glaubt. Pechschwarz erscheinen die beiden Ringe, die an einem Finger steckten, da das Metall noch weit weniger durchlässig ist als die Knochen. Wie weit sich diese Methode, das Innere des menschlichen Körpers erkennbar zu machen, noch vervollkommnen lassen wird, können wir heute nicht einmal ahnen, obwohl die Methoden, nach denen man durch die gewöhnlichen Lichtstrahlen Bilder erzeugen kann, die deutlicher als die bloßen Schatten sind, hier kaum anwendbar sein dürften.

Alle von Röntgen bisher untersuchten Substanzen zei-

gen nämlich weder eine meßbare Brechung, noch eine nachweisbare regelmäßige Reflexion, der neuen Strahlen. Nur eine sogenannte diffuse Zurückwerfung zeigt sich in allen nicht völlig durchlässigen Substanzen; diese verhalten sich also gegen die Röntgenschen Strahlen, wie starken Rauch oder dichten Nebel enthaltende Luft gegen das Licht. Obwohl es natürlich verfrüht wäre, schon jetzt irgend ein definitives Urteil über die Natur dieser neuen Strahlen abgeben zu wollen, so reizt doch die Neuheit der ganzen Erscheinung zur Aufstellung von Hypothesen.

Die geradlinige Fortpflanzung, die Bildung ziemlich scharfer Schatten haben die neuen Strahlen mit den Lichtstrahlen gemein, ebenso die Fluoreszenz erregende Kraft und die Wirkung auf die photographische Platte, wenn letztere nicht etwa ein sekundäres, durch Fluoreszenzlicht erzeugtes Phänomen ist. Wir werden um so mehr geneigt sein, eine Verwandtschaft mit dem gewöhnlichen Lichte zu vermuten, als der Begriff des letzteren schon eine Reihe von Verallgemeinerungen erfahren hat.

Man verstand ursprünglich unter Licht nur jene Wellenbewegungen, welche auf die Netzhaut des Auges zu wirken, daher Gesichtseindrücke hervorzubringen imstande sind und deren Wellenlänge etwa zwischen 0.4 und 0.7 einer Mikre (des tausendsten Teiles eines Millimeters) liegt. Man fand später, daß auf photographische Platten noch Wellen von bedeutend kleinerer Wellenlänge wirken. Da diese im Spektrum noch über das violette Ende hinaus liegen, nannte man sie ultraviolettes Licht. Andererseits fand man Wellen von bedeutend größerer Wellenlänge als das sichtbare rote Licht, die ultraroten, welche sich durch ihre erwärmende Kraft bemerkbar machen, aber auch auf photographische Platten wirken können, wenn dieselben vorher für diese Strahlen sensibilisiert worden, das heißt, wenn der Gelatine Stoffe beigemischt worden sind, welche durch die betreffenden Wellen zur Fluoreszenz angeregt werden. Alle diese Wellen sind transversale und zeigen wesentlich die gleichen Eigenschaften, nur werden sie etwas verschieden stark gebrochen, gebeugt und absorbiert. So gehen die ultravioletten Strahlen durch viele durchsichtige Körper, Glas, Wasser usw., nicht hindurch, ja, das äußerste Ultraviolett wird fast in allen Körpern

stark absorbiert. Die ultraroten Strahlen gehen durch eine vollkommen undurchsichtige Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff, durch vollkommen undurchsichtiges Hartgummi noch ziemlich zahlreich hindurch; aber auch durch gewisse Substanzen nicht, welche für das Licht durchlässig sind.

Eine dritte Erweiterung erfuhr der Begriff des Lichtes durch die Entdeckung der vielbesprochenen Hertzschen Wellen, welche durch elektrische Funken erregt werden und deren Wellenlänge von einigen Zentimetern bis zu mehreren Metern variieren kann. Im übrigen verhalten sie sich qualitativ ganz wie die Lichtwellen, sie sind transversal, können gebrochen, reflektiert, gebeugt, polarisiert werden usw. Daß sie durch viele vollkommen undurchsichtige Körper, wie Papier, Holz, Mauern, hindurchgehen, ist offenbar nur ihrer großen Wellenlänge zuzuschreiben; nur Metalle sind für sie undurchlässig.

Da zudem für alle angeführten Wellen nachgewiesen werden konnte, daß sie sich mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzen, so ist kein Zweifel, daß sie alle gleichartige Transversalwellen eines und desselben Mediums, des Lichtäthers sind und sich nur durch die Größe der Wellenlänge unterscheiden.

Anders die Kathodenstrahlen. Die Ansicht, daß diesen ebenfalls eine Wellenbewegung zugrunde liegt, wird gestützt durch einen Versuch Lenards. Dieser stellte eine Hittorfsche Röhre her, in welcher ein kleiner Teil des von den Kathodenstrahlen getroffenen Wandstückes durch ein dünnes Aluminiumblech gebildet wurde. Es ist dies die einzige Substanz, welche in einigermaßen größerer Dicke Kathodenstrahlen durchläßt. Lenard konnte so Kathodenstrahlen außerhalb des Hittorfschen Rohres, aber nur auf kurze Strecken erhalten, da sie selbst von allen Gasen ziemlich stark absorbiert werden.

Die Röntgenschen Strahlen nun scheinen eine fünfte Gattung von dem Lichte nahe verwandten Wellen zu bilden. Sie haben mit den Kathodenstrahlen die große Fluoreszenz erregende Kraft allgemein; auch ihre Erzeugung ist eine ähnliche. Sie sind aber doch sehr davon verschieden, da sie fast alle Körper durchdringen, während die Kathodenstrahlen in allen Körpern absorbiert werden und daher nur schwer und

auf ganz kurze Strecken aus dem Rohre, in dem sie sich bildeten, herauszubringen sind; außerdem werden die Kathodenstrahlen durch einen in der Nähe befindlichen Magnet aus ihrer geraden Richtung abgelenkt, was bei den Röntgenschen Strahlen nicht der Fall ist. Von den gewöhnlichen Lichtstrahlen sind beide so verschieden, daß kaum anzunehmen ist, sie seien bloß Lichtstrahlen, deren Wellenlänge kleiner als die der ultravioletten oder größer als die der längsten Hertzschen sind oder in dem zwischen den längsten ultraroten und kürzesten Hertzschen noch verfügbaren Intervalle liegen.

Der hypothetische Lichtäther, in welchem alle diese Wellenbewegungen wahrscheinlich stattfinden, zeigt in seinen Eigenschaften eine große Analogie mit dem Verhalten elastischer, am meisten mit dem gelatinöser Körper. Letztere sind immer longitudinaler und transversaler Schwingungen fähig; daher vermutete man schon lange, daß es auch longitudinale Ätherwellen gebe, ohne jedoch dieselben finden zu können. Da man weder an den Kathoden-, noch an den Röntgen-Strahlen Erscheinungen wahrnimmt, die auf Transversalität hindeuten, so sprach Röntgen mit aller Reserve die Ansicht aus, die von ihm entdeckten Wellen könnten die lange gesuchten longitudinalen Wellen des Äthers sein. In allen elastischen Körpern, besonders der Gelatine, ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der longitudinalen Wellen weit größer als die der transversalen. Nimmt man dies auch beim Lichtäther an, so könnten die Röntgenschen Wellen trotz sehr kleiner Schwingungsdauer noch mäßig große Wellenlängen haben. Die kleine Schwingungsdauer würde die Fluoreszenzerregung erklären, welche wahrscheinlich am kräftigsten eintritt, sobald die Schwingungen annähernd ebenso schnell wie die der Moleküle geschehen. Die größere Wellenlänge würde die Fähigkeit dieser Wellen, die meisten Körper zu durchdringen, worin sie den Hertzschen ähnlich sind, erklären. Beobachte ich doch allnächtlich, daß von der Musik im Nebenhause die tiefen Töne, welche die größere Wellenlänge haben, viel leichter als die hohen durch die Mauer gehen. Die Kathodenstrahlen dagegen wären longitudinale Wellen mit äußerst kurzer Wellenlänge, in ersterer Beziehung den Röntgenschen, in letzterer daher auch in Hinsicht auf ihre Absorbierbarkeit dem ultravioletten Lichte nahestehend. Da so viele

neuartige Wellen des Äthers gefunden wurden, wächst auch die Aussicht, durch ihre weitere Erforschung kürzere Wellen als die ultravioletten zu entdecken, und mittelst derselben die Mikroskope weiter zu verfeinern.

Manche mögliche Nutzanwendung der Entdeckung Röntgens habe ich schon angedeutet. Ihre größte Bedeutung besteht aber offenbar darin, daß wir wieder mit einem ganz neuen Agens bekannt geworden sind. Schon die Entdeckung der Hertzschen und der Kathodenwellen hat berechtigtes Aufsehen erregt. Doch sind die ersteren noch nicht wesentlich von den Lichtwellen verschieden, die letzteren fast ausschließlich in den engen Raum der Hittorfschen Röhre gebannt und daher für die Wissenschaft und Praxis wenig zugänglich. Die Röntgensche Erscheinung aber ist eine völlig neue, in großen Dimensionen sich abspielende.

Man bedenke, zu welchen Entdeckungen die Verfolgung der unscheinbarsten, qualitativ völlig neuen Naturerscheinungen geführt hat: der Anziehung von kleinen Körperchen durch geriebenen Bernstein, von Eisen durch den Magneteisenstein, der Zuckung von Froschschenkeln durch elektrische Entladungen, der Wirkung des elektrischen Stromes auf die Magnetnadel, der elektromagnetischen Induktion usw. Man wird dann ahnen, welche Nutzanwendung ein Agens noch finden kann, das schon wenige Wochen nach seiner Entdeckung zu so überraschenden Versuchen Veranlassung gab.

Es ist eine erfreuliche Tatsache, daß trotz der großen naturwissenschaftlichen Entdeckungen diese Quelle wunderbarer Erfindungen noch nicht spärlicher fließt und daß gerade in den letzten Jahren wieder eine Reihe neuer Erscheinungsformen und Agentien gefunden wurde, welche auf Jahrzehnte hinaus Stoff zur Forschung geben dürften und deren Nutzanwendungen wohl erst das kommende Jahrhundert er-

14.

Über die Entwicklung der Methoden der theoretischen Physik in neuerer Zeit.[1])

Hochansehnliche Versammlung!

In den früheren Jahrhunderten schritt die Wissenschaft durch die Arbeit der erlesensten Geister stetig, aber langsam fort, wie eine alte Stadt durch Neubauten betriebsamer und unternehmender Bürger in stetem Wachstume begriffen ist. Dagegen hat das gegenwärtige Jahrhundert des Dampfes und Telegraphen sein Gepräge nervöser, überhastender Tätigkeit auch dem Fortschritte der Wissenschaft aufgeprägt. Namentlich die Entwickelung der Naturwissenschaft in neuerer Zeit gleicht mehr der einer modernsten amerikanischen Stadt, die in wenigen Dezennien vom Dorfe zur Millionenstadt wird.

Man hat wohl mit Recht Leibniz als den letzten bezeichnet, der noch imstande war, das gesamte Wissen seiner Zeit in einem einzigen Menschenkopfe zu vereinigen. Allerdings hat es auch in neuerer Zeit nicht an Männern gefehlt, welche durch den enormen Umfang ihrer Kenntnisse in Staunen setzten. Ich erwähne da nur Helmholtz, welcher vier verschiedene Wissenszweige, die Philosophie, Mathematik, Physik und Physiologie, mit gleicher Meisterschaft beherrschte. Allein das waren doch nur einzelne, mehr oder minder verwandte Zweige des gesamten menschlichen Wissens; dieses reicht viel, viel weiter.

Die Folge dieser enormen, in rapidem Wachstum begriffenen Ausdehnung unserer positiven Kenntnisse war eine bis ins kleinste Detail gehende Arbeitsteilung in der Wissen-

1) Vortrag, gehalten auf der Münchener Naturforscherversammlung, Freitag, den 22. September 1899.

schaft, welche fast schon an die in einer modernen Fabrik erinnert, wo der eine nichts als das Abmessen, der zweite das Schneiden, der dritte das Einschmelzen der Kohlenfäden zu besorgen hat, usw. Gewiß ist eine derartige Arbeitsteilung dem raschen Fortschritte der Wissenschaft enorm förderlich, ja für denselben geradezu unentbehrlich; aber ebenso gewiß birgt sie auch große Gefahren. Der für jede ideale, auf die Entdeckung von wesentlich neuem, ja nur wesentlich neuen Verbindungen der alten Gedanken gerichtete Tätigkeit unerläßliche Überblick über das Ganze geht dabei verloren. Um diesem Übelstande nach Möglichkeit zu begegnen, ist es wohl nützlich, wenn von Zeit zu Zeit ein einzelner mit dieser wissenschaftlichen Detailarbeit Beschäftigter einem größeren, wissenschaftlich gebildeten Publikum einen Überblick über die Entwicklung desjenigen Wissenszweiges zu geben sucht, den er bearbeitet.

Es ist dies mit nicht geringen Schwierigkeiten verbunden. Die schier endlos lange Reihe von Schlüssen oder Einzelversuchen, deren Ziel irgend ein Resultat bildet, ist nur für denjenigen übersichtlich und leicht verständlich, der sich das Durchwandern gerade dieser Vorstellungsreihen zur Lebensaufgabe gemacht hat. Dazu kommt noch, daß sich zur Abkürzung der Ausdrucksweise und Erleichterung der Übersicht überall die Einführung einer sehr großen Zahl neuer Bezeichnungen und gelehrter Wörter als nützlich erwies. Der Vortragende kann nun einerseits nicht durch Erklärung aller dieser neuen Begriffe die Geduld seiner Zuhörer schon erschöpfen, bevor er zu seinem eigentlichen Gegenstande kommt, und andererseits ohne dieselben sich nur schwer und unbehülflich verständlich machen. Auch darf die populäre Darstellung nie als Hauptsache betrachtet werden. Dies würde zu einer Verflachung der Strenge der Schlüsse und zum Aufgeben jener Exaktheit führen, welche zum Epitheton der Naturwissenschaft, und zwar zu ihrem nicht geringen Stolze geworden ist. Wenn ich daher zum Thema meines gegenwärtigen Vortrages eine populäre Darstellung des Entwicklungsganges der theoretischen Physik in der neueren Zeit gewählt habe, so war ich mir wohl bewußt, daß mein Ziel in der Vollkommenheit, in der es meinem Geiste vorschwebt, nicht erreichbar ist, und daß ich nur das allgemein wichtigste

in rohen Umrissen werde zeichnen können, während ich hie und da wieder durch den der Vollständigkeit halber nötigen Vortrag von allzu Bekanntem werde Anstoß erregen müssen.

Die Hauptursache des rapiden Fortschrittes der Naturwissenschaft in der letzten Zeit liegt unzweifelhaft in der Auffindung und Vervollkommnung einer besonders geeigneten Forschungsmethode. Auf experimentellem Gebiete arbeitet dieselbe oft geradezu automatisch weiter, und der Forscher braucht nur gewissermaßen stets neues Material aufzulegen, wie der Weber neues Garn auf den mechanischen Webstuhl. So braucht der Physiker nur immer neue Substanzen auf ihre Zähigkeit, ihren elektrischen Widerstand usw. zu untersuchen, dann dieselben Bestimmungen bei der Temperatur des flüssigen Wasserstoffes, dann wieder des Moissanschen Ofens zu wiederholen, und ähnlich geht es bei manchen Aufgaben der Chemie. Freilich gehört immer noch genug Scharfsinn dazu, jedesmal gerade die Versuchsbedingungen zu finden, unter denen die Sache geht.

Nicht ganz so einfach steht es mit den Methoden der theoretischen Physik; doch kann auch da in gewissem Sinne von einem automatischen Fortarbeiten gesprochen werden.

Diese hohe Bedeutung der richtigen Methode erklärt es, daß man bald nicht bloß über die Dinge nachdachte, sondern auch über die Methode unseres Nachdenkens selbst; es entstand die sogenannte Erkenntnistheorie, welche trotz eines gewissen Beigeschmacks der alten, nun verpönten Metaphysik für die Wissenschaft von größter Bedeutung ist.

Die Fortentwicklung der wissenschaftlichen Methode ist sozusagen das Skelett, das den Fortschritt der gesamten Wissenschaft trägt; deshalb will ich im Folgenden die Entwicklung der Methoden in den Vordergrund stellen und gewissermaßen bloß zu ihrer Erläuterung die erzielten wissenschaftlichen Resultate einflechten. Letztere sind ja ihrer Natur nach leichter verständlich und allgemeiner bekannt, während gerade der methodische Zusammenhang am meisten der Erläuterung bedarf.

Einen besonderen Reiz gewährt es, an die historische Darstellung einen Ausblick auf die Entwicklung der Wissen-

schaft in einer Zukunft zu knüpfen, welche zu erleben uns kraft der Kürze des Menschendaseins versagt ist. In dieser Beziehung will ich schon im Voraus gestehen, daß ich nur Negatives bieten werde. Ich werde mich nicht vermessen, den Schleier zu heben, der die Zukunft umhüllt; dagegen will ich Gründe darlegen, welche wohl geeignet sein dürften, vor gewissen, allzu raschen Schlüssen auf die zukünftige Entwicklung der Wissenschaft zu warnen.

Betrachten wir den Entwicklungsgang der Theorie näher, so fällt zunächst auf, daß derselbe keineswegs so stetig erfolgt, als man wohl erwarten würde, daß er vielmehr voll von Diskontinuitäten ist und wenigstens scheinbar nicht auf dem einfachsten, logisch gegebenen Wege erfolgt. Gewisse Methoden ergaben oft noch soeben die schönsten Resultate, und mancher glaubte wohl, daß die Entwicklung der Wissenschaft bis ins Unendliche in nichts anderem, als ihrer stetigen Anwendung bestehen würde. Im Gegensatze hierzu zeigen sie sich plötzlich erschöpft, und man ist bestrebt, ganz neue, disparate, aufzusuchen. Es entwickelt sich dann wohl ein Kampf zwischen den Anhängern der alten Methoden und den Neueren. Der Standpunkt der ersteren wird von ihren Gegnern als ein veralteter, überwundener bezeichnet, während sie selbst wieder die Neuerer als Verderber der echten klassischen Wissenschaft schmähen.

Es ist dies übrigens ein Prozeß, der keineswegs auf die theoretische Physik beschränkt ist, vielmehr in der Entwicklungsgeschichte aller Zweige menschlicher Geistestätigkeit wiederzukehren scheint. So glaubte vielleicht mancher zu den Zeiten Lessings, Schillers und Goethes, daß durch stete Weiterentwicklung der von den Meistern gepflegten idealen Dichtungsweise für die dramatische Literatur aller Zeiten gesorgt sei, während heutzutage total verschiedene Methoden dramatischer Dichtung gesucht werden und die rechte vielleicht noch gar nicht gefunden ist.

In ganz ähnlicher Weise stehen der alten Malschule die Impressionisten, Sezessionisten, Pleine-airisten, steht der klassischen Tonkunst die Zukunftsmusik gegenüber. Letztere ist doch nicht schon wieder veraltet? Wir werden uns daher

nicht mehr wundern, daß die theoretische Physik keine Ausnahme von diesem allgemeinen Entwicklungsgesetze ist.

Gestützt auf die Vorarbeiten zahlreicher genialer Naturphilosophen, hatten Galilei und Newton ein Lehrgebäude geschaffen, welches als der eigentliche Anfang der theoretischen Physik bezeichnet werden muß. Newton fügte demselben mit besonderem Erfolge die Theorie der Bewegung der Himmelskörper ein. Er betrachtete dabei jeden derselben als einen mathematischen Punkt, wie ja auch besonders die Fixsterne in der Tat in erster Annäherung der Beobachtung erscheinen. Zwischen je zweien sollte eine in die Richtung ihrer Verbindungslinie fallende, dem Quadrate ihres Abstandes verkehrt proportionale Anziehungskraft wirken. Indem er eine das gleiche Gesetz befolgende Kraft auch zwischen je zwei Massenteilchen eines beliebigen Körpers wirksam dachte und im übrigen die Bewegungsgesetze anwandte, welche er aus den Beobachtungen an irdischen Körpern abgeleitet hatte, gelang es ihm, die Bewegung sämtlicher Himmelskörper, die Schwere, Ebbe und Flut und alle einschlägigen Erscheinungen aus demselben Gesetze abzuleiten.

Im Hinblick auf diese großen Erfolge waren Newtons Nachfolger bestrebt, die übrigen Naturerscheinungen ganz nach der Methode Newtons lediglich unter passenden Modifikationen und Erweiterungen zu erklären. Unter Benutzung einer alten, schon von Demokrit herrührenden Hypothese dachten sie sich die Körper als Aggregate sehr zahlreicher materieller Punkte, der Atome. Zwischen je zweien derselben sollte außer der Newtonschen Anziehung noch eine Kraft wirken, welche man sich in gewissen Entfernungen abstoßend, in anderen anziehend dachte, wie es eben zur Erklärung der Erscheinungen am geeignetsten schien.

Die Rechnung hatte nun das sogenannte Prinzip der Erhaltung der lebendigen Kraft ergeben. Jedesmal, wenn eine gewisse Arbeit geleistet wird, d. h. wenn der Angriffspunkt einer Kraft eine bestimmte Strecke in der Richtung der Kraftwirkung zurücklegt, muß eine bestimmte Menge von Bewegung entstehen, deren Quantität durch einen mathematischen Ausdruck gemessen wird, den man lebendige Kraft

nennt. Genau diese Bewegungsquantität kommt nun wirklich zum Vorschein, sobald die Kraft alle Teilchen eines Körpers gleichmäßig angreift, z. B. beim freien Falle, dagegen immer weniger, wenn nur einige Teilchen von den Kräften affiziert werden, andere nicht, wie bei der Reibung, beim Stoße. Bei allen Prozessen der letzteren Art entsteht dafür Wärme. Man machte daher die Hypothese, daß die Wärme, welche man früher für einen Stoff gehalten hatte, nichts anderes sei, als eine unregelmäßige Relativbewegung der kleinsten Teilchen der Körper gegeneinander, welche man nicht direkt sehen kann, da man ja diese Teilchen selbst nicht sieht, welche sich aber den Teilchen unserer Nerven mitteilt und dadurch das Wärmegefühl erzeugt.

Die Konsequenz der Theorie, daß die erzeugte Wärme immer genau der verlorenen lebendigen Kraft proportional sein muß, was man den Satz der Äquivalenz der lebendigen Kraft und Wärme nennt, bestätigte sich. Man setzte weiter voraus, daß in den festen Körpern jedes Teilchen um eine bestimmte Ruhelage schwingt und die Konfiguration dieser Ruhelagen eben die feste Gestalt des Körpers bestimmt. In den tropfbaren Flüssigkeiten sind die Molekularbewegungen so lebhaft, daß die Teilchen nebeneinander vorbeikriechen; die Verdampfung aber entsteht durch die gänzliche Lostrennung der Teilchen von der Oberfläche der Körper, so daß in den Gasen und Dämpfen die Teilchen größtenteils geradlinig, wie abgeschossene Flintenkugeln fortfliegen. So erklärte sich das Vorkommen der Körper in den drei Aggregatzuständen, sowie viele Tatsachen der Physik und Chemie ungezwungen. Aus zahlreichen Eigenschaften der Gase folgt freilich, daß deren Moleküle keine materiellen Punkte sein können. Man setzte daher voraus, daß sie Komplexe solcher seien, vielleicht noch umgeben von Ätherhüllen.

Außer den die Körper zusammensetzenden ponderablen Atomen nahm man nämlich noch das Vorhandensein eines zweiten, aus weit feineren Atomen bestehenden Stoffes, des Lichtäthers, an und konnte durch regelmäßige Transversalwellen des letzteren fast alle Lichterscheinungen erklären, die früher Newton der Emanation besonderer Lichtteilchen zugeschrieben hatte. Einige Schwierigkeiten blieben freilich noch, wie das gänzliche Fehlen longitudinaler Wellen im

Lichtäther, welche doch in allen ponderablen Körpern nicht nur vorkommen, sondern dort geradezu die Hauptrolle spielen.

Unsere Kenntnis von Tatsachen auf dem Gebiete der Elektrizität und des Magnetismus war durch Galvani, Volta, Oerstedt, Ampère und viele andere enorm erweitert und durch Faraday zu einem gewissen Abschlusse gebracht worden. Letzterer hatte mit verhältnismäßig geringen Mitteln eine solche Fülle neuer Tatsachen gefunden, daß es lange schien, als ob sich die Zukunft nur noch auf die Erklärung und praktische Anwendung aller dieser Entdeckungen werde beschränken müssen.

Als Ursache der Erscheinungen des Elektromagnetismus hatte man sich schon lange besondere elektrische und magnetische Flüssigkeiten gedacht. Ampère gelang die Erklärung des Magnetismus durch molekulare elektrische Ströme, wodurch die Annahme magnetischer Flüssigkeiten entbehrlich wurde, und Wilhelm Weber vollendete die Theorie der elektrischen Fluida, indem er sie so ergänzte, daß alle bis dahin bekannten Erscheinungen des Elektromagnetismus daraus in einfacher Weise erklärbar waren. Er dachte sich zu diesem Behufe die elektrischen Fluida geradeso aus kleinsten Teilchen bestehend, wie die ponderablen Körper und den Lichtäther, und zwischen den Elektrizitätsteilchen auch ganz analoge Kräfte wirkend, wie zwischen denen der übrigen Stoffe, nur mit der unwesentlichen Modifikation, daß die zwischen je zwei Elektrizitätsteilchen wirkenden Kräfte auch von ihrer relativen Geschwindigkeit und Beschleunigung abhängen sollten.

Während man daher in den ersten Zeiten außer dem greifbaren Stoffe noch einen Wärmestoff, Lichtstoff, zwei magnetische, zwei elektrische Fluida usw. angenommen hatte, reichte man jetzt mit dem ponderablen Stoffe, dem Lichtäther, und den elektrischen Flüssigkeiten aus. Jeden dieser Stoffe dachte man sich bestehend aus Atomen, und die Aufgabe der Physik schien sich für alle Zukunft darauf zu reduzieren, das Wirkungsgesetz der zwischen je zwei Atomen tätigen Fernkraft festzustellen und dann die aus allen diesen Wechselwirkungen folgenden Gleichungen unter den entsprechenden Anfangsbedingungen zu integrieren.

Dies war die Entwicklungsstufe der theoretischen Physik beim Beginne meiner Studien. Was hat sich seitdem alles verändert! Fürwahr, wenn ich auf alle diese Entwicklungen und Umwälzungen zurückschaue, so erscheine ich mir wie ein Greis an Erlebnissen auf wissenschaftlichem Gebiete! Ja, ich möchte sagen, ich bin allein übrig geblieben von denen, die das Alte noch mit voller Seele umfaßten, wenigstens bin ich der einzige, der noch dafür, soweit er es vermag, kämpft. Ich betrachte es als meine Lebensaufgabe, durch möglichst klare, logisch geordnete Ausarbeitung der Resultate der alten klassischen Theorie, soweit es in meiner Kraft steht, dazu beizutragen, daß das viele Gute und für immer Brauchbare, das meiner Überzeugung nach darin enthalten ist, nicht einst zum zweiten Male entdeckt werden muß, was nicht der erste Fall dieser Art in der Wissenschaft wäre.

Ich stelle mich Ihnen daher vor als einen Reaktionär, einen Zurückgebliebenen, der gegenüber den Neuerern für das Alte, Klassische schwärmt; aber ich glaube, ich bin nicht borniert, nicht blind gegen die Vorzüge des Neuen, dem im folgenden Teile meines Vortrages Gerechtigkeit widerfahren soll, soweit mir dies möglich ist; denn ich weiß wohl, daß ich, wie jeder, die Dinge durch meine Brille subjektiv gefärbt sehe.

Der erste Angriff auf das geschilderte wissenschaftliche System erfolgte gegen dessen schwächste Seite, die Webersche Theorie der Elektrodynamik. Diese ist gewissermaßen die Blüte der Geistesarbeit dieses genialen Forschers, der sich durch seine zahlreichen, in den elektrodynamischen Maßbestimmungen und anderwärts niedergelegten Ideen und experimentellen Resultate die unsterblichsten Verdienste um die Elektrizitätslehre erworben hat. Sie trägt jedoch bei allem Scharfsinne und aller mathematischen Feinheit so sehr das Gepräge des Gekünstelten, daß wohl stets nur wenige begeisterte Anhänger an ihre unbedingte Richtigkeit glaubten. Gegen sie wandte sich Maxwell unter rückhaltlosester Anerkennung der Verdienste Webers.

Die Arbeiten Maxwells kommen für uns in zweifacher Weise in Betracht: 1. der erkenntnistheoretische Teil der-

selben, 2. der speziell physikalische. In erster Beziehung warnte Maxwell davor, eine Naturanschauung bloß aus dem Grunde für die einzig richtige zu halten, weil sich eine Reihe von Konsequenzen derselben in der Erfahrung bestätigt hat. Er zeigt an vielen Beispielen, wie sich oft eine Gruppe von Erscheinungen auf zwei total verschiedene Arten erklären läßt. Beide Erklärungsarten stellen die ganze Erscheinungsgruppe gleich gut dar. Erst wenn man neuere, bis dahin unbekannte Erscheinungen zuzieht, zeigt sich der Vorzug der einen vor der anderen Erklärungsart, welche erstere aber vielleicht nach Entdeckung weiterer Tatsachen einer dritten wird weichen müssen.

Während vielleicht weniger die Schöpfer, als besonders die späteren Vertreter der alten klassischen Physik prätendierten, durch diese die wahre Natur der Dinge erkannt zu haben, so wollte Maxwell seine Theorie als ein bloßes Bild der Natur aufgefaßt wissen, als eine mechanische Analogie, wie er sagte, welche im gegenwärtigen Augenblicke die Gesamtheit der Erscheinungen am einheitlichsten zusammenzufassen gestattet. Wir werden sehen, wie einflußreich diese Stellungsnahme Maxwells auf die weitere Entwicklung der Theorie wurde. Maxwell verhalf diesen theoretischen Ideen sofort zum Siege durch seine praktischen Erfolge.

Wir sahen, daß alle damals bekannten elektromagnetischen Erscheinungen erklärt waren durch die Webersche Theorie, welche die Elektrizität aus Teilchen bestehen ließ, die ohne alle Vermittlung direkt in beliebige Entfernungen aufeinander wirken. Angeregt durch die Ideen Faradays, entwickelte nun Maxwell eine vom entgegengesetzten Standpunkte ausgehende Theorie. Nach dieser wirkt jeder elektrische oder magnetische Körper nur auf die unmittelbar benachbarten Teilchen eines den ganzen Raum erfüllenden Mediums, diese dann wieder auf die anliegenden Teilchen des Mediums, bis sich die Wirkung bis zum nächsten Körper fortgepflanzt hat.

Die bisher bekannten Erscheinungen wurden von beiden Theorien gleich gut erklärt; aber die Maxwellsche griff über die alte Theorie hinaus. Nach der ersteren mußten, sobald es nur gelang, genügend rasch verlaufende Elektrizitätsbewegungen zu erzeugen, durch diese im Medium Wellen-

bewegungen hervorgerufen werden, welche genau die Gesetze der Lichtwellenbewegung befolgen. Maxwell vermutete daher, daß in den Teilchen leuchtender Körper beständig rapide Elektrizitätsbewegungen vor sich gehen, und daß die hierdurch im Medium erregten Schwingungen eben das Licht sind. Das die elektromagnetischen Wirkungen vermittelnde Medium wird dadurch identisch mit dem schon früher erforderlichen Lichtäther, und wir können ihm daher wohl wieder diesen Namen beilegen, obwohl es vielfach andere Eigenschaften haben muß, um zur Vermittlung des Elektromagnetismus tauglich zu sein.

Warum man bei den bisherigen Versuchen über Elektrizität keine derartigen Schwingungen bemerken konnte, läßt sich vielleicht in folgender Weise anschaulich machen. Wir wollen die flache Hand an ein ruhendes Pendel anlegen, langsam senkrecht zur Pendelstange, das Pendel hebend, nach derjenigen Seite bewegen, wo dieses anliegt, dann wieder zurück und schließlich nach der anderen Seite ganz entfernen. Das Pendel macht, der Hand folgend, eine halbe Schwingung, aber es schwingt nicht weiter, weil ihm die erteilte Geschwindigkeit zu klein ist. Ein anderes Beispiel! Die Theorie nimmt an, daß beim Zupfen einer Saite ein Punkt der Saite aus der Ruhelage entfernt und dann plötzlich die ganze Saite sich selbst überlassen wird. Ich glaubte das als Student nicht, sondern meinte, der Zupfende müsse der Saite noch einen besonderen Stoß erteilen; denn wenn ich die Saite zuerst mit dem Finger ausbog und dann diesen in der Richtung, in der die Saite schwingen sollte, rasch entfernte, blieb diese stumm. Ich übersah, daß ich den Finger im Verhältnisse zur Raschheit der Saitenschwingungen viel zu langsam bewegte und so diese selbst aufhielt.

Gerade so wurden bei den bisherigen Versuchen die elektrischen Zustände im Vergleiche mit der enormen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität, immer verhältnismäßig viel zu langsam in andere übergeführt. Hertz fand nun nach mühevollen Vorversuchen, deren leitenden Gedankengang er selbst in der unbefangensten Weise schildert, gewisse Versuchsbedingungen, unter denen elektrische Zustände so rasch periodisch geändert werden, daß beobachtbare Wellen entstehen. Wie alles Geniale sind dieselben äußerst einfach.

Trotzdem kann ich hier selbstverständlich auch auf diese einfachen experimentellen Einzelheiten nicht eingehen. Die so von Hertz unzweifelhaft durch elektrische Entladungen erzeugten Wellen unterscheiden sich, wie Maxwell vorausgesagt hatte, qualitiv nicht im mindesten von den Lichtwellen. Aber wie groß ist der quantitative Unterschied!

Wie beim Schalle die Tonhöhe, so wird beim Lichte bekanntlich die Farbe durch die Schwingungszahl bestimmt. Im sichtbaren Lichte sind etwa 400 Billionen Schwingungen in der Sekunde im äußersten Rot, 800 Billionen im äußersten Violett der extremsten Schwingungszahlen. Man hatte schon lange ganz gleichartige Ätherwellen entdeckt, wobei bis etwa 20mal weniger als im äußersten Rot und bis etwa 3mal so viel Schwingungen in der Sekunde als im äußersten Violett erfolgen. Sie sind für das Auge unsichtbar; aber die ersteren, die sogenannten ultraroten, durch ihre Wärmewirkung, die letzteren, die ultravioletten, durch chemische und phosphoreszenzerzeugende Wirkung erkennbar. In den von Hertz durch wirkliche Entladung erzeugten Wellen erfolgten in der Sekunde nicht mehr als etwa 1000 Millionen Schwingungen, und Hertzs Nachfolger kamen bis etwa auf das Hundertfache.

Daß so langsame Schwingungen nicht direkt mit dem Auge gesehen werden können, ist selbstverständlich. Hertz wies sie durch mikroskopisch kleine Fünkchen nach, die sie sogar in großen Entfernungen in passend geformten Leitern erzeugen. Letztere könnte man daher als Augen für Hertzsche Schwingungen bezeichnen. Mit diesen Mitteln bestätigte Hertz die Maxwellsche Theorie bis ins kleinste Detail und, wiewohl man versuchte, auch aus der Fernwirkungstheorie zu elektrischen Schwingungen zu gelangen, so war doch die Überlegenheit der Maxwellschen Theorie bald niemandem mehr zweifelhaft, ja wie Pendel nach der entgegengesetzten Seite über die Ruhelage hinausgehen, so sprachen schließlich die Extremsten von der Verfehltheit aller Anschauungen der alten klassischen Theorie der Physik. Doch davon später! Vorher wollen wir noch ein wenig bei diesen glänzenden Entdeckungen verweilen.

Von den schon vor Hertz bekannten verschiedenen Ätherwellen gehen, wie man längst wußte, die einen durch

diese, die anderen durch jene Körper leichter hindurch. So läßt wässerige Alaunlösung alle sichtbare, aber nur wenig ultrarote Strahlung hindurch, welche dafür eine für sichtbares Licht völlig undurchlässige Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff mit Leichtigkeit durchdringt. Die Hertzschen Wellen durchdringen fast alle Körper mit Ausnahme der Metalle und Elektrolyte. Wenn daher Marconi an einem Orte sehr kurze Hertzsche Wellen erregte und an einem viele Kilometer entfernten, mit einer passenden Modifikation des Apparates, den wir Auge für Hertzsche Wellen genannt haben, in Morsezeichen umsetzte, so konstruierte er eigentlich nichts anderes, als einen gewöhnlichen optischen Telegraphen, nur daß er statt der Wellen von etwa 500 Billionen solche von ungefähr dem zehnten Teil einer Billion von Schwingungen in der Sekunde anwandte. Dies hat den Vorteil, daß die letzteren Wellen durch Nebel, ja selbst Gestein fast ungeschwächt hindurchgehen. Einen Berg von gediegenem Metall oder einen Nebel von Quecksilbertröpfchen würden sie so wenig durchdringen, wie das sichtbare Licht einen gewöhnlichen Berg oder Nebel.

Die Mannigfaltigkeit der uns bekannten Strahlenarten wurde noch vermehrt durch die mit Recht so gefeierte Entdeckung der Röntgenstrahlen. Diese durchdringen alle Körper, auch die Metalle; letztere sowie metallhaltige Körper, wie die kalziumhaltigen Knochen, aber unter erheblicher Schwächung. Die an allen früher besprochenen Strahlen nachgewiesenen Erscheinungen der Polarisation, Interferenz und Beugung konnten an ihnen noch nicht beobachtet werden. Wären sie wirklich jeder Polarisation unfähig, so müßten es, wenn überhaupt Wellen, longitudinale sein; aber es muß selbst die Möglichkeit offen gelassen werden, daß sie auch der Interferenz unfähig, also überhaupt keine Wellen sind, weshalb man vorsichtig von Röntgenstrahlen, nicht von Röntgenwellen spricht. Würde einst ein sie polarisierender Körper entdeckt, so spräche dies dafür, daß sie qualitativ dem Lichte gleich sind; sie müßten aber noch viel, viel kleinere Schwingungsdauer haben, als selbst das äußerste Ultraviolett oder vielleicht nur, wie wenige Physiker glauben, aus rasch sich folgenden Stoßwellen bestehen.

Im Hinblick auf diese enorme Mannigfaltigkeit von Strah-

len möchten wir fast mit dem Schöpfer darüber rechten, daß er unser Auge nur für einen so winzigen Bereich derselben empfindlich gemacht hat. Es geschähe dies hier, wie immer, mit Unrecht; denn überall wurde dem Menschen nur ein kleiner Bereich eines großen Naturganzen direkt geoffenbart und dafür dessen Verstand befähigt, die Erkenntnis des übrigen durch eigene Anstrengung zu erringen.

Wären die Röntgenstrahlen wirklich longitudinale Wellen des Lichtäthers, was zu glauben ihr Entdecker gleich anfangs sehr geneigt war, und was noch bis heute durch keine einzige Tatsache widerlegt ist, so läge uns da ein eigentümlicher, in der Wissenschaft nicht einzig dastehender Fall vor. Die klassische theoretische Physik hatte ihre Ansicht über die Beschaffenheit des Lichtäthers vollkommen fertig. Nur eins fehlte noch, wie man glaubte, zur unumstößlichen Bestätigung ihrer Richtigkeit, nämlich die longitudinalen Ätherwellen; diese aber konnte man um keinen Preis finden. Jetzt, da bewiesen ist, daß der Lichtäther einen wesentlich anderen Bau haben muß, da er ja auch Vermittler der elektrischen und magnetischen Wirkungen ist, jetzt, da die alte Ansicht über die Beschaffenheit des Lichtäthers abgetan ist, kommt man post festum ihrer ersehnten Bestätigung der Entdeckung von Longitudinalwellen im Äther so nahe.

Ähnlich ging es mit der Weberschen Theorie der Elektrodynamik. Diese basiert, wie wir sahen, auf der Annahme, daß die Wirkung elektrischer Massen von deren Relativbewegung abhängt, und gerade zur Zeit, als die Unzulänglichkeit der Weberschen Theorie definitiv bewiesen wurde, fand Rowland in Helmholtzs Laboratorium durch einen direkten Versuch, daß bewegte Elektrizitäten anders als ruhende wirken. In früherer Zeit wäre man wohl geneigt gewesen, dies für einen direkten Beweis der Richtigkeit der Weberschen Theorie zu halten. Heute weiß man, daß es kein Experimentum crucis ist, daß es vielmehr ebenso aus der Maxwellschen Theorie folgt.

Ferner folgt aus einer Modifikation der Weberschen Theorie, daß nicht bloß die stromführenden Leiter, sondern auch die Ströme in diesen selbst durch den Magneten abgelenkt werden müssen. Auch diese Erscheinung, welche man lange vergebens gesucht hatte, wurde von dem ameri-

kanischen Physiker Hall zu einer Zeit aufgefunden, wo sich die Anhänger der Weberschen Theorie wegen vorangegangener weit größerer Niederlagen längst des Triumphs nicht mehr freuen konnten.

Solche Erscheinungen beweisen, wie vorsichtig man sein muß, wenn man in der Bestätigung einer Konsequenz einen Beweis für die unbedingte Richtigkeit einer Theorie erblicken will. Nach Maxwells Anschauung stimmen eben oft Bilder, welche in vielen Fällen der Natur angepaßt wurden, automatisch auch noch in manchen anderen, woraus aber noch nicht die Übereinstimmung in allen folgt. Andererseits zeigen diese Erscheinungen, daß auch eine falsche Theorie nützlich sein kann, wenn sie nur Anregung zu neuartigen Versuchen in sich birgt.

Durch die angeführten Entdeckungen von Hertz, Röntgen, Rowland, Hall war bewiesen, daß Faraday doch auch seinen Nachfolgern noch etwas zu finden übriggelassen hat. Hieran schließen sich noch manche andere Entdeckungen der neuesten Zeit, von denen hier nur die Zeemans vom Einflusse des Magnetismus auf das ausgesandte Licht und die vom korrespondierenden Einflusse auf die Lichtsorption erwähnt werden mögen. Alle diese Erscheinungen, von denen viele von Faraday gesucht wurden, konnten mit den damaligen Mitteln absolut nicht beobachtet werden. Hat daher oft das Genie mit den kleinsten Mitteln das größte geleistet, so sieht man hier umgekehrt, daß zu manchen Leistungen der Menschengeist doch erst durch die gegenwärtige enorme Vervollkommnung der Beobachtungsapparate und Experimentiertechnik befähigt wird.

Die meisten der geschilderten ganz neuartigen Erscheinungen sind bis jetzt erst in ihren ersten Grundzügen bekannt. Die Erforschung ihrer Einzelheiten, ihrer Beziehungen untereinander und zu allen anderen bekannten Erscheinungen, mit einiger Übertreibung möchte ich sagen, ihre Einlage in den mechanischphysikalischen Webstuhl eröffnet für die Zukunft ein fast unermeßlich scheinendes Arbeitsfeld. Die reichen, schon im Beginne erzielten praktischen Erfolge (Röntgenphotographie, Telegraphie ohne Draht, Radiotherapie) lassen die praktische Ausbeute ahnen, welche die sonst immer allein erst praktisch fruchtbare Detailforschung bringen

wird. Die Theorie aber wurde aus ihrer Ruhe aufgeschreckt, in der sie schon fast alles erkannt zu haben glaubte, und es gelang bis heute noch nicht, die neuen Erscheinungen in ein so einheitliches Lehrgebäude zusammenzufassen, wie es das alte gewesen war; vielmehr ist heute noch alles im Schwanken und in Gärung begriffen.

Diese Verwirrung wurde durch das Zusammenwirken mancher anderer Umstände mit den genannten vermehrt. Es sind da zunächst gewisse philosophische Bedenken gegen die Grundlagen der Mechanik zu erwähnen, welche am deutlichsten durch Kirchhoff ausgesprochen wurden. Man hatte in die alte Mechanik unbedenklich den Dualismus zwischen Kraft und Stoff eingeführt. Die Kraft betrachtete man als ein besonderes Agens neben der Materie, welches die Ursache aller Bewegung ist; ja, man stritt sogar ab und zu, ob die Kraft ebenso wie die Materie existiere oder eine Eigenschaft der letzteren sei, oder ob umgekehrt die Materie als Produkt der Kraft angesehen werden müsse.

Kirchhoff war weit entfernt, diese Fragen beantworten zu wollen, er hielt jedenfalls die ganze Art der Fragestellung für unzweckmäßig und nichtssagend. Um sich aber jedes Urteils über den Wert solcher metaphysischer Betrachtungen enthalten zu können, erklärte er alle diese dunklen Begriffe ganz vermeiden und die Aufgabe der Mechanik auf die einfachste, unzweideutigste Beschreibung der Bewegung der Körper beschränken zu wollen, ohne sich um die metaphysische Ursache derselben zu kümmern. In seiner Mechanik ist daher bloß von materiellen Punkten und den mathematischen Ausdrücken die Rede, durch welche die Bewegungsgesetze der ersteren formuliert werden; der Begriff der Kraft fehlt vollständig. Hatte einst Napoleon in der Kapuzinergruft in Wien gerufen: „Alles ist eitel, mit Ausnahme der Kraft“, so strich jetzt Kirchhoff auf einer Druckseite die Kraft aus der Natur, jenen deutschen Professor beschämend, von dem Karl Moor erzählt, daß er sich vermaß, trotz seiner Schwäche, auf seinem Katheder das Wesen der Kraft zu behandeln, aber doch nicht diese zu vernichten.

Kirchhoff hat selbst das Wort Kraft später wieder eingeführt, aber nicht als metaphysischen Begriff, sondern bloß

als abgekürzte Bezeichnung für gewisse algebraische Ausdrücke, welche bei der Beschreibung der Bewegung beständig vorkommen. Später hat man wohl diesem Worte öfter wieder, besonders im Hinblick auf die Analogie mit der für den Menschen so geläufigen Muskelanstrengung, eine erhöhte Bedeutung vindiziert, aber die alten dunkeln Fragestellungen und Begriffe werden wohl niemals mehr in der Naturwissenschaft wiederkehren.

— — —

Kirchhoff hatte an der alten klassischen Mechanik keine materielle Änderung vorgenommen; seine Reformation war eine rein formale. Viel weiter ging Hertz, und während fast alle späteren Autoren die Darstellungsweise Kirchhoffs nachahmten, hier und da freilich oft mehr gewisse, bei Kirchhoff stehende Ausdrucksweisen als dessen Geist, so habe ich Hertzs Mechanik zwar sehr oft preisen gehört, aber noch niemanden sah ich auf dem von Hertz gewiesenen Wege weiter wandeln.

Es ist, soviel ich weiß, noch nicht darauf hingewiesen worden, daß ein Gedanke in der Kirchhoffschen Mechanik, wenn man dessen letzte Konsequenzen zieht, direkt zu den Hertzschen Ideen führt. Kirchhoff definiert nämlich den wichtigsten Begriff der Mechanik, den der Masse, nur für den Fall, daß beliebige Bedingungsgleichungen zwischen den materiellen Punkten bestehen. In diesem Falle sieht man klar die Notwendigkeit des von Kirchhoff als Masse bezeichneten Faktors. In den anderen Fällen, wo sich die materiellen Punkte ohne Bedingungsgleichungen so bewegen, wie es den alten Kraftwirkungen entsprach, so z. B. in der Elastizitätslehre, Aëromechanik usw., schwebt Kirchhoffs Massenbegriff in der Luft, und die hieraus folgende Unklarheit schwindet erst dann vollständig, wenn man die letzteren Fälle überhaupt ausschließt.

Dies tat Hertz. Die wichtigsten der Kräfte der alten Mechanik waren direkte Fernkräfte zwischen je zwei materiellen Punkten gewesen. Kirchhoff entfernte die Frage nach der metaphysischen Ursache dieser Fernwirkung aus der Mechanik; aber Bewegungen, welche genau nach denselben Gesetzen erfolgen, als ob diese Fernkräfte bestünden, ließ er zu. Nun ist man heute, wie wir sahen, überzeugt, daß

die elektrischen und magnetischen Wirkungen durch ein Medium vermittelt werden. Bleibt nur noch die Gravitation, von der schon ihr Entdecker Newton annahm, daß sie wohl wahrscheinlich der Wirkung eines Mediums zuzuschreiben sei, und die Molekularkräfte. Letztere lassen sich angenähert in festen Körpern durch die Bedingung der Unveränderlichkeit der Gestalt, in tropfbarflüssigen durch die der Unveränderlichkeit des Volumens ersetzen. Die Ersetzung der Elastizität, der Expansivkraft kompressibler Flüssigkeiten, der Kristallisations- und chemischen Kräfte durch Bedingungen von einer analogen Form ist zwar bis heute noch nicht gelungen. Aber offenbar in der Voraussetzung, daß sie gelingen werde, verwirft Hertz im Gegensatze zu Kirchhoff auch jede Bewegung, die so geschieht, wie sie die alten Fernkräfte fordern, und läßt bloß Bewegungen zu, für welche derartige Bedingungen bestehen, deren Form von ihm genauer mathematisch definiert wird. Das einzige, was er nebst diesen Bedingungen zum Aufbaue der ganzen Mechanik noch verwendet, ist ein Bewegungsgesetz, welches einen speziellen Fall des Gaußschen Prinzips des kleinsten Zwanges darstellt.

Hat also Kirchhoff bloß die Frage nach der Ursache der Bewegungen, die man sonst den Fernkräften zuschrieb, verpönt, so merzt Hertz diese Bewegungen selbst aus und sucht die Kräfte durch Bedingungsgleichungen zu erklären, während man sonst umgekehrt die Bewegungsbedingungen aus Kräften erklärte. Hertz unterfängt sich daher in viel wahrerem Sinne als Kirchhoff, die Kraft selbst zu überwältigen. Er schuf so ein frappierend einfaches, von ganz wenigen, gewissermaßen sich logisch von selbst darbietenden Prinzipien ausgehendes System der Mechanik. Leider schloß sich im gleichen Momente sein Mund auf ewig den tausend Fragen um Erläuterungen, die gewiß nicht auf meinen Lippen allein schweben.

Man begreift nach dem Gesagten, daß sich gewisse Erscheinungen, wie die freie Bewegung starrer Systeme, aus Hertz Theorie mit Leichtigkeit ergeben. Bei den übrigen Erscheinungen muß Hertz das Vorhandensein verborgener, in Bewegung begriffener Massen annehmen, durch deren Eingriff in die Bewegung der sichtbaren Massen sich erst die Ge-

setze der Bewegung der letzteren erklären, welche daher dem ebenfalls verborgenen, die elektromagnetischen und Gravitationswirkungen erzeugenden Medium entsprechen. Aber wie sind diese uns völlig unbekannten Massen in jedem Falle zu denken? Ja, ist es überhaupt allemal möglich, durch sie zum Ziele zu gelangen? Die Struktur der ehemals gebräuchlichen Medien und auch des Maxwellschen Lichtäthers darf ihnen nicht beigelegt werden, da ja in allen diesen Medien solche Kräfte wirkend gedacht wurden, welche Hertz gerade ausschließt.

Ich konnte schon in einem ganz einfachen mechanischen Beispiele keine zum Ziele führenden verborgenen Massen finden und legte das betreffende Problem der Naturforschergesellschaft zur Lösung vor; denn solange sich selbst in den einfachsten Fällen gar keine oder nur ganz unverhältnismäßig komplizierte Systeme verborgener Massen finden lassen, welche das Problem im Sinne der Hertzschen Theorie lösen, ist der Wert der letzteren doch nur ein rein akademischer.

Die Hertzsche Mechanik scheint mir daher mehr ein Programm für eine ferne Zukunft zu sein. Wenn es einst gelingen sollte, alle Naturvorgänge durch solche verborgene Bewegungen im Hertzschen Sinne in ungekünstelter Weise zu erklären, dann würde die alte Mechanik durch die Hertzsche überwunden sein. Bis dahin ist die erstere die einzige, welche alle Erscheinungen wirklich in klarer Weise darzustellen vermag, ohne Dinge beizuziehen, die nicht nur verborgen sind, sondern von denen man auch gar keine Ahnung hat, wie man sie denken soll.

Hertz hat in seinem Buche über Mechanik, ebenso wie die mathematisch-physikalischen Ideen Kirchhoffs, auch die erkenntnistheoretischen Maxwells zu einer gewissen Vollendung gebracht. Maxwell hatte die Hypothese Webers eine reale physikalische Theorie genannt, womit er sagen wollte, daß ihr Autor objektive Wahrheit dafür in Anspruch nahm, seine eigenen Ausführungen dagegen bezeichnete er als bloße Bilder der Erscheinungen. Hieran anknüpfend, bringt Hertz den Physikern so recht klar zum Bewußtsein, was wohl die Philosophen schon längst ausgesprochen hatten, daß keine Theorie etwas Objektives, mit der Natur wirklich sich Deckendes sein kann, daß vielmehr jede nur ein geistiges

Bild der Erscheinungen ist, das sich zu diesen verhält, wie das Zeichen zum Bezeichneten.

Daraus folgt, daß es nicht unsere Aufgabe sein kann, eine absolut richtige Theorie, sondern vielmehr ein möglichst einfaches, die Erscheinung möglichst gut darstellendes Abbild zu finden. Es ist sogar die Möglichkeit zweier ganz verschiedener Theorien denkbar, die beide gleich einfach sind und mit den Erscheinungen gleich gut stimmen, die also, obwohl total verschieden, beide gleich richtig sind. Die Behauptung, eine Theorie sei die einzig richtige, kann nur der Ausdruck unserer subjektiven Überzeugung sein, daß es kein anderes gleich einfaches und gleich gut stimmendes Bild geben könne.

Zahlreiche Fragen, die früher unergründlich schienen, entfallen hiermit von selbst. Wie kann, sagte man früher, von einem materiellen Punkte, der ein bloßes Gedankending ist, eine Kraft ausgehen, wie können Punkte zusammen Ausgedehntes liefern usw.? Jetzt weiß man, daß sowohl die materiellen Punkte, als auch die Kräfte bloße geistige Bilder sind. Erstere können nicht Ausgedehntem gleich sein, aber es mit beliebiger Annäherung abbilden. Die Frage, ob die Materie atomistisch zusammengesetzt oder ein Kontinuum ist, reduziert sich auf die viel klarere, ob die Vorstellung enorm vieler Einzelwesen oder die eines Kontinuums ein besseres Bild der Erscheinungen zu liefern vermöge.

Wir sprachen zuletzt hauptsächlich über Mechanik. Eine die ganze Physik ergreifende Umwälzung wurde in Anknüpfung an das rapide Anwachsen der Bedeutung des Energieprinzips versucht. Wir erwähnten dieses Prinzip schon einmal ganz beiläufig als eine durch die Erfahrung bestätigte Konsequenz der mechanistischen Naturanschauung. Nach dieser erscheint die Energie als ein bekannter, aus schon früher eingeführten Größen (Masse, Geschwindigkeit, Kraft, Weg) in gegebener Weise zusammengesetzter mathematischer Ausdruck, bar alles Geheimnisvollen, und da sie Wärme, Elektrizität usw. als Bewegungsformen von teilweise freilich ganz unbekannter Natur ansieht, so sieht sie im Energieprinzipe eine wichtige Bestätigung ihrer Schlüsse.

Wir begegnen einer Würdigung desselben übrigens schon

in der ersten Kindheit der Mechanik. Leibniz sprach von der Substantialität der Kraft, worunter er die Energie meint, fast mit denselben Worten, wie die modernsten Energetiker; aber er läßt beim unelastischen Stoße aus der lebendigen Kraft Deformation, Bruch von Cohärenz und Textur, Spannung von Federn usw. entstehen; davon, daß Wärme eine Energieform sei, hat er keine Ahnung. Dubois Reymond ist daher auch sachlich vollkommen im Unrechte, wenn er in seiner Gedächtnisrede auf Helmholtz Robert Mayer nochmals zu verkleinern sucht und ihm die Priorität der Entdeckung der Äquivalenz von Wärme und mechanischer Arbeit abspricht. Letzterer bekannte sich übrigens keineswegs zur Ansicht, daß die Wärme Molekularbewegung sei, er hielt sie vielmehr für eine vollständig neue Energieform und behauptete nur ihre Äquivalenz mit der mechanischen Energie. Auch die Physiker, welche der ersteren Ansicht huldigten, vor allen Clausius, unterschieden strenge zwischen den Sätzen, welche allein aus ihr folgen, der speziellen Thermodynamik, und denen, welche unabhängig von jeder Hypothese über die Natur der Wärme aus feststehenden Erfahrungstatsachen abgeleitet werden können, der allgemeinen Thermodynamik.

Während nun die spezielle Thermodynamik nach einer Reihe glänzender Resultate wegen der Schwierigkeit, die Molekularbewegungen mathematisch zu behandeln, ins Stocken geriet, erzielte die allgemeine eine Fülle von Resultaten. Man fand, daß die Temperatur dafür ausschlaggebend ist, wann und in welcher Menge sich Wärme und Arbeit ineinander umsetzen. Der Zuwachs der zugeführten Wärme stellte sich als Produkt der (sogenannten absoluten) Temperatur und des Zuwachses einer anderen Funktion dar, welche man nach Clausius Vorgang die Entropie nennt. Aus dieser konstruierte nun besonders Gibbs neue Funktionen, wie die später als thermodynamisches Potentiale bei konstanter Temperatur, konstantem Drucke usw. bezeichneten, und gelangte mit ihrer Hilfe zu den überraschendsten Resultaten auf den verschiedensten Gebieten, so der Chemie, Kapillarität usw.

Man fand ferner, daß Gleichungen von analoger Form auch für die Verwandlung der anderen Energieformen, elektischer, magnetischer, Strahlungsenergie usw., ineinander

gelten, und daß da namentlich auch überall Zerlegungen in zwei Faktoren mit ähnlichem Erfolge vorgenommen werden können. Dies begeisterte eine Reihe von Forschern, die sich selbst Energetiker nennen, so sehr, daß sie die Notwendigkeit des Bruchs mit allen bisherigen Anschauungen lehrten, gegen die sie einwandten, der Schluß von der Äquivalenz von Wärme und lebendiger Kraft auf deren Identität sei ein Fehlschluß, als ob für diese Identität bloß der Äquivalenzsatz, nicht auch so vieles andere spräche.

Der Energiebegriff gilt der neuen Lehre als der einzig richtige Ausgangspunkt der Naturforschung. Die Zerlegbarkeit in zwei Faktoren und ein sich daran schließender Variationssatz als das Fundamentalgesetz der gesamten Natur. Jede mechanische Versinnlichung, warum die Energie gerade diese kuriosen Formen annimmt und in jeder derselben zwar ähnlichen, aber doch wieder wesentlich anderen Gesetzen folgt, halten sie für überflüssig, sogar schädlich, und die Physik, ja die ganze Naturwissenschaft der Zukunft ist ihnen eine bloße Beschreibung des Verhaltens der Energie in allen ihren Formen, eine Naturgeschichte der Energie, was freilich, wenn man unter Energie überhaupt alles Wirksame versteht, zum Pleonasmus wird.

Unzweifelhaft sind die Analogien des Verhaltens der verschiedenen Energieformen so wichtig und interessant, daß ihre allseitige Verfolgung als eine der schönsten Aufgaben der Physik bezeichnet werden muß; gewiß rechtfertigt auch die Wichtigkeit des Energiebegriffes den Versuch, ihn als ersten Ausgangspunkt zu wählen. Es muß ferner zugegeben werden, daß die Forschungsrichtung, welche ich die klassische theoretische Physik genannt habe, hier und da zu Auswüchsen führte, gegen welche eine Reaktion notwendig war. Jeder Nächstbeste fühlte sich berufen, einen Bau von Atomen, Wirbeln und Verkettungen derselben zu ersinnen, und glaubte damit dem Schöpfer dessen Plan definitiv abgeguckt zu haben.

Ich weiß, wie fördernd es ist, die Probleme von den verschiedensten Seiten in Angriff zu nehmen, und mein Herz schlägt warm für jede originelle, begeisterte wissenschaftliche Arbeit. Ich drücke daher der Sezession die Hand. Nur schien mir, daß sich die Energetik oft durch oberflächliche,

bloß formale Analogien täuschen ließ, daß ihre Gesetze der in der klassischen Physik üblichen klaren und eindeutigen Fassung, ihre Schlüsse der dort herausgearbeiteten Strenge entbehrten, daß sie von dem Alten manches Gute, ja für die Wissenschaft Unentbehrliche mit verwarf. Auch schien mir der Streit, ob die Materie oder Energie das Existierende sei, ein Rückfall in die alte, überwunden geglaubte Metaphysik, ein Verstoß gegen die Erkenntnis, daß alle theoretischen Begriffe Vorstellungsbilder sind.

Wenn ich in allen diesen Dingen meine Überzeugung rückhaltlos aussprach, so glaubte ich dadurch in nützlicherer Weise als durch Lob mein Interesse für die Fortentwickelung der Lehre von der Energie zu dokumentieren. Gleichwie in der Hertzschen Mechanik, so kann ich daher auch in der Lehre der Ableitbarkeit der gesamten Physik aus dem Satze von allen zwei Energiefaktoren und dem angeführten Variationssatze nur ein Ideal für ferne Zukunft erblicken Nur diese kann die heute noch ganz unentschiedene Frage beantworten, ob ein derartiges Naturbild besser als das frühere oder das beste ist.

Von den Energetikern kommen wir zu den Phänomenologen, welche ich als gemäßigte Sezessionisten bezeichnen möchte. Ihre Lehre ist eine Reaktion dagegen, daß die alte Forschungsmethode die Hypothesen über die Beschaffenheit der Atome als das eigentliche Ziel der Wissenschaft, die daraus sich für sichtbare Vorgänge ergebenden Gesetze aber mehr bloß als Mittel zur Kontrolle derselben betrachtet hatte.

Dies gilt freilich nur für deren extremste Richtung. Wir sahen, daß schon Clausius strenge zwischen der allgemeinen, von Molekularhypothesen unabhängigen und der speziellen Thermodynamik unterschieden hatte. Auch viele andere Physiker, z. B. Ampère, Franz Neumann, Kirchhoff, legten ihren Ableitungen keine Molekularvorstellungen zugrunde, wenn sie auch die atomistische Struktur der Materie nicht leugneten.

Eine Ableitungsweise finden wir da besonders häufig, welche ich die euklidische nennen möchte, da sie der von Euklid in der Geometrie angewandten nachgebildet ist. Es werden einige Sätze (Axiome) entweder als von selbst evi-

dent oder doch als unzweifelhaft erfahrungsmäßig feststehend vorausgestellt, aus diesen dann zunächst gewisse einfache Elementargesetze als logische Konsequenzen abgeleitet und daraus erst schließlich die allgemeinen (Integral)-Gesetze konstruiert.

Mit dieser und den molekulartheoretischen Ableitungsweisen war man bisher so ziemlich ausgelangt; anders bei Maxwells Theorie des Elektromagnetismus. Maxwell dachte sich in seinen ersten Arbeiten das den Elektromagnetismus fortpflanzende Medium ebenfalls als bestehend aus einer großen Zahl von Molekülen, wenigstens von mechanischen Individuen, den Bau derselben aber so kompliziert, daß sie nur als Hilfsmittel zur Auffindung der Gleichungen, als Schemata einer mit der tatsächlichen in gewisser Hinsicht analogen Wirkung, aber nimmermehr als endgültige Bilder des in der Natur Existierenden gelten können. Später zeigte er, daß nicht bloß diese, sondern auch viele andere Mechanismen zum Ziele führen würden, sobald dieselben nur gewisse allgemeine Bedingungen erfüllten; aber alle Bemühungen, einen bestimmten, wirklich einfachen Mechanismus zu finden, an dem alle diese Bedingungen erfüllt sind, scheiterten. Dies ebnete einer Lehre den Boden, welche ich am prägnantesten charakterisieren zu können glaube, wenn ich zum dritten Male auf Hertz zurückkomme, dessen in der Einleitung seiner Abhandlung über die Grundgleichungen der Elektrodynamik niedergelegte Ideen für diese Lehre typisch sind.

Eine befriedigende mechanische Erklärung dieser Grundgleichungen hat Hertz nicht gesucht, wenigstens nicht gefunden; aber auch die euklidische Ableitungsweise verschmähte er. Mit Recht weist er darauf hin, daß in der Mechanik nicht die wenigen Experimente, aus denen gewöhnlich deren Grundgleichungen gewonnen werden, daß in der Elektrodymamik nicht die fünf oder sechs Fundamentalversuche Ampères es sind, was uns von der Richtigkeit aller dieser Gleichungen so fest überzeugt, sondern vielmehr ihre nachherige Übereinstimmung mit allen bisher bekannten Tatsachen. Er fällt daher das salomonische Urteil, es sei das beste, nachdem man diese Gleichungen einmal habe, sie ohne jede Ableitung hinzuschreiben, dann mit den Erscheinungen zu vergleichen und in ihrer steten Übereinstimmung

mit denselben den besten Beweis ihrer Richtigkeit zu erblicken.

Die Ansicht, deren Extrem hiermit ausgesprochen ist, fand die verschiedenste Aufnahme. Während die einen fast geneigt waren, sie für einen schlechten Witz zu halten, schien es anderen von nun an als einziges Ziel der Physik, ohne jede Hypothese, ohne jede Veranschaulichung oder mechanische Erläuterung für jede Reihe von Vorgängen Gleichungen aufzuschreiben, aus denen ihr Verlauf quantitativ berechnet werden kann, so daß die alleinige Aufgabe der Physik darin bestünde, durch Probieren möglichst einfache Gleichungen zu finden, welche gewisse notwendige formale Bedingungen der Isotropie usw. erfüllen, und sie dann mit der Erfahrung zu vergleichen. Dies ist die extremste Richtung der Phänomenologie, welche ich die mathematische nennen möchte, während die allgemeine Phänomenologie jede Tatsachengruppe durch Aufzählung und naturgeschichtliche Schilderung aller dahin gehörigen Erscheinungen zu beschreiben sucht ohne Beschränkung der dazu dienlichen Mittel, aber unter Verzicht auf jede einheitliche Naturauffassung, auf jede mechanische Erläuterung oder sonstige Begründung. Letztere ist charakterisiert durch den von Mach zitierten Ausspruch, daß die Elektrizität nichts anderes ist, als die Summe aller Erfahrungen, welche wir auf diesem Gebiete schon gemacht haben und noch zu machen hoffen. Beide stellen sich die Aufgabe, die Erscheinungen darzustellen, ohne über die Erfahrung hinauszugehen.

Die mathematische Phänomenologie erfüllt zunächst ein praktisches Bedürfnis. Die Hypothesen, durch welche man zu den Gleichungen gelangt war, erwiesen sich als unsicher und dem Wandel unterworfen, die Gleichungen selbst aber, wenn sie einmal in genügend vielen Fällen erprobt waren, standen wenigstens innerhalb gewisser Genauigkeitsgrenzen fest; darüber hinaus bedurften sie freilich wieder der Ergänzung und Verfeinerung. Schon für den praktischen Gebrauch ist es daher erforderlich, das Feststehende, Gesicherte vom Schwankenden möglichst rein zu sondern.

Es muß auch zugegeben werden, daß der Zweck jeder Wissenschaft, und daher auch der Physik, in der vollkommensten Weise erreicht wäre, wenn man Formeln gefunden

hätte, mittelst deren man die zu erwartenden Erscheinungen in jedem speziellen Falle eindeutig, sicher und vollkommen genau voraus berechnen könnte; allein dies ist ebenso ein unerfüllbares Ideal, wie die Kenntnis des Wirkungsgesetzes und der Anfangszustände aller Atome.

Wenn die Phänomologie glaubte, die Natur darstellen zu können, ohne irgendwie über die Erfahrung hinauszugehen, so halte ich das für eine Illusion. Keine Gleichung stellt irgend welche Vorgänge absolut genau dar, jede idealisiert sie, hebt Gemeinsames heraus und sieht von Verschiedenem ab, geht also über die Erfahrung hinaus. Daß dies notwendig ist, wenn wir irgend eine Vorstellung haben wollen, die uns etwas Künftiges vorauszusagen erlaubt, folgt aus der Natur des Denkprozesses selbst, der darin besteht, daß wir zur Erfahrung etwas hinzufügen und ein geistiges Bild schaffen, welches nicht die Erfahrung ist und darum viele Erfahrungen darstellen kann.

Die Erfahrung, sagt Goethe, ist immer nur zur Hälfte Erfahrung. Je kühner man über die Erfahrung hinausgeht, desto allgemeinere Überblicke kann man gewinnen, desto überraschendere Tatsachen entdecken, aber desto leichter kann man auch irren. Die Phänomenologie sollte daher nicht prahlen, daß sie die Erfahrung nicht überschreitet, nur warnen, dies in zu hohem Maße zu tun.

Auch wenn sie kein Bild für die Natur zu setzen glaubt, irrt sie. Die Zahlen, ihre Beziehungen und Gruppierungen sind geradeso Bilder der Vorgänge, wie die geometrischen Verstellungen der Mechanik. Erstere sind nur nüchterner, für die quantitative Darstellung besser, aber dafür weniger geeignet, wesentlich neue Perspektiven zu zeigen; sie sind schlechte heuristische Wegweiser; ebenso erweisen sich alle Vorstellungen der allgemeinen Phänomenologie als Bilder der Erscheinungen. Es wird daher wohl der beste Erfolg erzielt werden, wenn man stets alle Abbildungsmittel je nach Bedürfnis verwendet, aber nicht versäumt, die Bilder auf jedem Schritte an neuen Erfahrungen zu prüfen.

Dann wird man auch nicht, wie es den Atomistikern vorgeworfen wurde, durch die Bilder geblendet, Tatsachen übersehen. Hierzu führt jede wie immer geartete Theorie, wenn sie zu einseitig betrieben wird. Es war daran weniger

eine spezifische Eigentümlichkeit der Atomistik, als vielmehr der Umstand schuld, daß man noch zu wenig gewarnt war, den Bildern zu trauen. Der Mathematiker darf ebensowenig seine Formeln mit der Wahrheit verwechseln, sonst wird er in gleicher Weise geblendet. Dies sieht man an den Phänomenologen, wenn sie die vielen vom Standpunkte der speziellen Thermodynamik allein verständlichen Tatsachen nicht bemerken, an den Gegnern der Atomistik, wenn sie alles dafür sprechende ignorieren, ja selbst an Kirchhoff, wenn er, seinen hydrodynamischen Gleichungen trauend, die Ungleichheit des Drucks an verschiedenen Stellen eines wärmeleitenden Gases für unmöglich hält.

Die mathematische Phänomenologie kehrte naturgemäß zu der dem Anscheine entsprechenden Vorstellung der Kontinuität der Materie zurück. Dem gegenüber machte ich darauf aufmerksam, daß die Differentialgleichungen, welche sie benützt, laut Definition bloße Grenzübergänge darstellen, welche ohne die Voranstellung des Gedankens einer sehr großen Zahl von Einzelwesen einfach sinnlos sind. Nur bei gedankenlosem Gebrauche mathematischer Symbole kann man glauben, Differentialgleichungen von atomistischen Vorstellungen trennen zu können. Wird man sich vollkommen darüber klar, daß die Phänomenologen versteckt im Gewande der Differentialgleichungen ebenfalls von atomartigen Einzelwesen ausgehen, die sie allerdings für jede Erscheinungsgruppe anders, bald mit diesen, bald mit jenen Eigenschaften in kompliziertester Weise begabt denken müssen, so wird sich bald wieder das Bedürfnis nach einer vereinfachten einheitlichen Atomistik einstellen.

Die Energetiker und Phänomenologen hatten aus der geringen gegenwärtigen Fruchtbarkeit auf den Niedergang der Molekulartheorie geschlossen. Während diese nach der Meinung einiger überhaupt nur geschadet hat, so gaben doch andere zu, daß sie früher von Nutzen war, daß nahezu alle Gleichungen, welche den mathematischen Phänomenologen jetzt der Inbegriff der Physik sind, auf molekulartheoretischem Wege gewonnen wurden; aber letztere behaupteten, daß sie jetzt, wo man diese Gleichungen bereits hat, überflüssig geworden sei. Alle schworen ihr Vernichtung. Sie wiesen auf das historische Prinzip hin, daß oft die am meisten hoch-

gehaltenen Ansichten in kurzer Zeit durch völlig verschiedene verdrängt werden, ja, wie der heilige Remigius die Heiden, so mahnten sie die theoretischen Physiker, zu verbrennen, was man soeben noch angebetet hatte.

Allein historische Prinzipe sind mitunter zweischneidig. Gewiß zeigt die Geschichte oft unvorhergesehene Umwälzungen; gewiß ist es nützlich, die Möglichkeit im Auge zu behalten, daß das, was uns jetzt das sicherste zu sein scheint, einmal durch etwas völlig anderes verdrängt werden kann; aber ebenso auch die Möglichkeit, daß gewisse Errungenschaften doch für alle Zeiten in der Wissenschaft bleiben werden, wenn auch in ergänzter und veränderter Form. Ja, nach dem genannten historischen Prinzipe dürften die Energetiker und Phänomenologen gar nicht definitiv siegen, denn dann würde daraus sofort wieder ihr baldiger Sturz folgen.

Nach Clausius Vorgang haben die Anhänger der speziellen Thermodynamik nie den hohen Wert der allgemeinen geleugnet, die Erfolge der letzteren beweisen daher nicht das mindeste gegen die erstere. Es kann sich nur fragen, ob es neben diesen Erfolgen auch solche gibt, welche nur die Atomistik zu erreichen vermochte, und an solchen hat die Atomistik auch noch lange nach ihrer alten Glanzzeit viele bemerkenswerte aufzuweisen. Aus rein molekulartheoretischen Prinzipien hat van der Waals eine Formel abgeleitet, welche das Verhalten der Flüssigkeiten, der Gase und Dämpfe und der verschiedenen Übergangsformen dieser Aggregatzustände zwar nicht vollkommen genau, aber mit bewunderungswürdiger Annäherung wiedergibt, und zu vielen neuen Resultaten, z. B. der Theorie der entsprechenden Zustände, geführt hat. Molekulartheoretische Überlegungen zeigten gerade in neuester Zeit den Weg zu Verbesserungen dieser Formel, und es ist die Hoffnung nicht ausgeschlossen, zunächst das Verhalten der chemisch einfachsten Substanzen, namentlich Argon, Helium usw., vollkommen genau darstellen zu können, so daß also gerade die Atomistik sich dem Ideale der Phänomenologen, einer alle Körperzustände umfassenden mathematischen Formel, am meisten genähert hat. Daran schloß sich eine kinetische Theorie der tropfbaren Flüssigkeiten.

Die Atomistik hat ferner in neuerer Zeit wieder viel zur Versinnlichung und Ausarbeitung der Gibbsschen Dissoziationstheorie beigetragen, welche dieser zwar auf einem anderen, aber doch auf einem allgemein molekulartheoretische Grundvorstellungen voraussetzenden Wege gefunden hatte. Sie hat die hydrodynamischen Gleichungen nicht nur neu begründet, sondern auch gezeigt, wo dieselben, sowie die Gleichungen für die Wärmeleitung noch der Korrektion bedürfen. Wenn auch die Phänomenologie es sicher ebenfalls für wünschenswert hält, stets neue Versuche anzustellen, um etwa notwendige Korrektionen ihrer Gleichungen zu finden, so leistet die Atomistik hier doch viel mehr, indem sie auf bestimmte Versuche hinzuweisen gestatet, welche am ersten zur wirklichen Auffindung solcher Korrektionen Aussicht bieten.

Auch die spezifisch molekulartheoretische Lehre vom Verhältnisse der beiden Wärmekapazitäten der Gase spielt gerade heute wieder eine wichtige Rolle. Clausius hatte dieses Verhältnis für die einfachsten Gase, deren Moleküle sich wie elastische Kugeln verhalten, zu $1^2/_3$ berechnet, ein Wert, der für keines der damals bekannten Gase zutraf, woraus er schloß, daß es so einfach gebaute Gase nicht gibt. Maxwell fand für dieses Verhältnis im Falle, daß sich die Moleküle beim Stoße wie nicht kugelige elastische Körper verhalten, den Wert $1^1/_3$. Da aber dasselbe für die bekanntesten Gase den Wert 1,4 hat, so verwarf Maxwell seine Theorie ebenfalls. Er hatte aber den Fall übersehen, daß die Moleküle um eine Axe symmetrisch sind; dann fordert die Theorie für das in Rede stehende Verhältnis genau auch den Wert 1,4.

Der alte Clausiussche Wert $1^2/_3$ war schon von Kundt und Warburg für Quecksilberdampf gefunden worden, aber wegen der Schwierigkeit dieses Versuches war er nie wiederholt worden und fast in Vergessenheit geraten. Da kehrte derselbe Wert $1^2/_3$ für das Verhältnis der Wärmekapazitäten bei allen von Lord Rayleigh und Ramsay entdeckten neuen Gasen wieder, und auch alle anderen Umstände deuteten, wie dies schon beim Quecksilberdampfe der Fall gewesen war, auf den von der Theorie geforderten, besonders einfachen Bau ihrer Moleküle hin. Welchen Einfluß hätte es auf die Geschichte der Gastheorie gehabt, wenn Maxwell nicht in dieses kleine Versehen verfallen wäre, oder wenn die neuen

Gase schon zur Zeit der ersten Rechnung Clausius' bekannt gewesen wäre? Man hätte dann gleich anfangs alle von der Theorie geforderten Werte für das Verhältnis der Wärme kapazitäten bei den einfachsten Gasen wiedergefunden.

Ich erwähne endlich noch der Beziehungen, welche die Molekulartheorie zwischen dem Entropiesatze und der Wahrscheinlichkeitsrechnung lehrt, über deren reale Bedeutung sich ja streiten läßt, von denen aber wohl kein Unbefangener leugnen wird, daß sie unseren Ideenkreis zu erweitern und Fingerzeige zu neuen Gedankenkombinationen und sogar Versuchen zu gehen imstande sind.

Alle diese Leistungen und zahlreiche frühere Errungenschaften der Atomlehre können durch die Phänomenologie oder Energetik absolut nicht gewonnen werden, und ich behaupte, daß eine Theorie, welche Selbständiges, in anderer Weise nicht Gewinnbares leistet, für welche obendrein so viele andere physikalische, chemische und kristallographische Tatsachen sprechen, nicht zu bekämpfen, sondern fortzupflegen ist. Der Vorstellung über die Natur der Moleküle aber wird man den weitesten Spielraum lassen müssen. So wird man die Theorie des Verhältnisses der Wärmekapazitäten nicht aufgeben, weil sie noch nicht allgemein anwendbar ist; denn die Moleküle verhalten sich nur bei den einfachsten Gasen und auch bei diesen nicht bei höchsten Temperaturen und nur hinsichtlich ihrer Zusammenstöße wie elastische Körper; über ihre nähere, gewiß enorm komplizierte Beschaffenheit aber hat man noch keine Anhaltspunkte; man wird vielmehr solche zu gewinnen suchen. Neben der Atomistik kann die ebenfalls unentbehrliche, von jeder Hypothese losgelöste Präzisierung und Diskussion der Gleichungen einhergehen, ohne daß letztere ihren mathematischen Apparat, erstere ihre materiellen Punkte zum Dogma erhebt.

Bis heute aber herrscht noch der lebhafteste Kampf der Meinungen; jeder hält seine für die echte, und er möge es, wenn es in der Absicht geschieht, ihre Kraft den anderen gegenüber zu erproben. Der rapide Fortschritt hat die Erwartungen auf das höchste gespannt, was wird das Ende sein?

Wird die alte Mechanik mit den alten Kräften, wenn auch der Metaphysik entkleidet, in ihren Grundzügen bestehen

bleiben oder einst nur mehr in der Geschichte fortleben, von Hertz verborgenen Massen oder von ganz andern Vorstellungen verdrängt? Wird von der heutigen Molekulartheorie trotz aller Ergänzungen und Modifikationen doch das wesentliche übrig bleiben, wird einmal eine von der jetzigen total verschiedene Atomistik herrschen oder sich gar entgegen meiner Beweisführung die Vorstellung des reinen Kontinuums als das beste Bild erweisen? Wird die mechanische Naturanschauung einmal die Hauptschlacht der Entdeckung eines einfachen, mechanischen Bildes für den Lichtäther gewinnen, werden wenigstens mechanische Modelle immer bestehen, werden sich neue, nichtmechanische als besser erweisen, werden die beiden Energiefaktoren einmal alles beherrschen, oder wird man sich schließlich begnügen, jedes Agens als die Summe von allerhand Erscheinungen zu beschreiben, oder wird gar die Theorie zur bloßen Formelsammlung und daran sich knüpfenden Diskussion der Gleichungen werden?

Wird überhaupt je einmal die Überzeugung entstehen, daß gewisse Bilder nicht mehr von einfacheren, umfassenderen verdrängt werden können, daß sie „wahr" sind, oder machen wir uns vielleicht die beste Vorstellung von der Zukunft, wenn wir uns das vorstellen, wovon wir gar keine Vorstellung haben?

In der Tat interessante Fragen! Man bedauert fast, sterben zu müssen lange vor ihrer Entscheidung. O unbescheidener Sterblicher! Dein Los ist die Freude am Anblicke des wogenden Kampfes!

Übrigens möge man lieber das Naheliegende bearbeiten, als sich um so fernes den Kopf zu zerbrechen. Hat doch das Jahrhundert genug geleistet! Eine unerwartete Fülle positiver Tatsachen und eine köstliche Sichtung und Läuterung der Forschungsmethoden vermacht es dem kommenden. Ein spartanischer Kriegerchor rief den Jünglingen zu: Werdet noch tapferer als wir! Wenn wir, einer alten Gepflogenheit folgend, das neue Jahrhundert mit einem Segenswunsche begrüßen wollen, so können wir ihm fürwahr, an Stolz jenen Spartanern gleich, wünschen, es möge noch größer und bedeutungsvoller werden als das scheidende!

15.

Zur Erinnerung an Josef Loschmidt.[1])

Meine Herren!

Sie haben mir in diesen Räumen schon öfters das Wort erteilt, um Ihnen den einen oder anderen Baustein vorzuführen, wie wir sie ohne Unterlaß dem Baue der Wissenschaft angliedern, unbekümmert darum, ob sie im Laufe der Jahrhunderte noch bemerkbar sein oder im Massiv des Baues einzeln dem Auge entschwinden werden. Wenn nur jeder seinen Platz ausfüllt, so tut er seine Schuldigkeit. Aber heute haben Sie mich nicht um dessentwillen berufen, sondern um einem meiner teuersten Freunde das letzte Wort ins Grab nachzurufen, unserem am 8. Juli dieses Jahres verstorbenen Professor Loschmidt.

Wenig beredt ist zumeist der Schmerz. Aber wohl mir! Die Arbeiten Loschmidts sind nicht bloß einzelne Bausteine wie die oben beschriebenen, sondern sie bilden eine mächtige Ecksäule, weithin sichtbar, so lange es eine Naturwissenschaft geben wird.

Eine Arbeit Loschmidts, die Berechnung der Größe der Luftmoleküle, wurde aus Anlaß seines Todes in letzter Zeit in den Zeitungen wieder viel besprochen. In einem Kreise von Physikern und Chemikern ist es wohl nicht nötig, auf

1) Am 8. Juli 1895 verstarb in Wien Josef Loschmidt im 74. Lebensjahre. Er wirkte vom Jahre 1868 bis zum Jahre 1891 als Professor der Physik an der Wiener Universität und wurde von der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien im Jahre 1867 zum korrespondierenden, im Jahre 1870 zum wirklichen Mitgliede erwählt. Der chemisch-physikalischen Gesellschaft in Wien gehörte Loschmidt seit der Gründung an. Einem Wunsche ihrer Mitglieder entsprechend, wurde in der Sitzung vom 29. Oktober 1895 diese Gedenkrede gehalten.

die Prinzipien dieser Berechnung und ihre Bedeutung für die Wissenschaft hinzuweisen, ebenso wenig auf einige später von anderen ausgeführte ähnliche Berechnungen, welche aber erst durch Lord Kelvins berühmte Abhandlung „On the size of mulecules" zu allgemeiner Anerkennung gelangten. Später wurden noch die verschiedensten Berechnungen dieser Größe nach den mannigfaltigsten Methoden ausgeführt, so daß ich selbst die Titel aller betreffenden Abhandlungen hier nicht aufzählen könnte. Nur eines ist ihnen allen gemein, daß sie durchwegs auf die zuerst von Loschmidt gefundene Zahl führen, wodurch dieselbe eine fast an Gewißheit grenzende Evidenz erhielt.

Die Berechnung dieser Zahl ist meines Erachtens die größte, aber keineswegs die einzige wissenschaftliche Leistung Loschmidts. Selbst in mehr populären Darstellungen, so in der von Lord Salisbury zu Oxford gelesenen und nun auch in französischer Übersetzung erschienenen „Presidents adress" oder in Ostwalds Vortrag „Über Energetik" zu Lübeck, ist in neuester Zeit viel von demjenigen Zustande des Lichtäthers die Rede, welchen Lord Kelvin den quasi labilen nannte. Damit verhält es sich so: Das Licht kommt jedenfalls durch Schwingungen und zwar nicht wie der Schall durch longitudinale, sondern durch transversale zustande. Der Lichtäther kann daher nicht wie unsere Gase oder tropfbaren Flüssigkeiten nur longitudinaler Schwingungen fähig sein. Man legte ihm deshalb naturgemäß anfangs die Eigenschaften fester Körper bei, bis Lord Kelvin nachwies, daß man, um alle Eigenschaften des Lichtes zu erklären, den Elastizitätsmodul dieses festen Körpers negativ annehmen muß. Ein solcher Körper hätte dann, obwohl seine Teilchen nicht leicht gegen einander verschiebbar sind, bezüglich der Ausdehnsamkeit eine gewisse Verwandtschaft mit den Gasen. Ein begrenztes Stück desselben könnte nicht existieren, da es sofort unseren Händen entschwinden und sich ins Unendliche ausdehnen müßte. Trotzdem wäre nicht ausgeschlossen, daß der Lichtäther diese Beschaffenheit hätte; denn dieser kann uns ja nicht durch weitere Ausdehnung entschwinden, da er ohnehin schon durch den ganzen unendlichen Raum ausgedehnt ist.

Dies alles hat Lord Kelvin unlängst durch wundervolle

Rechnungen nachgewiesen; aber er war nicht der erste, der es tat; etwa 30 Jahre früher schon hatte Loschmidt Ideen, die im wesentlichen auf dasselbe hinauslaufen, in seiner Abhandlung „Über die Konstanten des Lichtäthers“ entwickelt. Diese ist nicht in einer Zeitschrift erschienen, sondern als selbständige Broschüre gedruckt und, wie ich glaube, im Buchhandel gar nicht mehr vorrätig.

Lamé, der sich ja selbst so viel mit Optik beschäftigte, schenkte ihr Beachtung. Es existieren einige Briefe, die er darüber an Loschmidt schrieb. Außerdem wird sie meines Wissens nur in einem Referate der „Fortschritte der Physik“ erwähnt, aber dort ohne Verständnis und in einer so wegwerfenden Weise kritisiert, daß sich damals Loschmidt darüber ärgerte, daß es aber heutzutage höchstens dem betreffenden Referenten zur Unehre gereichen kann.

Eine andere wiederum höchst originelle Leistung Loschmidts ist in seinen Arbeiten über den II. Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie niedergelegt. Ganz der idealen Natur dieses Gelehrten entspricht der Feuereifer, mit dem er bemüht war, das Universum von dem sogenannten Wärmetode durch die Dissipation der Energie zu erretten, womit es durch die Untersuchungen von Clausius und Lord Kelvin bedroht wurde. Diese Rettung, wenn sie überhaupt notwendig sein sollte, ist ihm nicht gelungen, aber er gelangte bei ihrem Versuche doch zu höchst interessanten Resultaten, indem er hierbei zur Anwendung des II. Hauptsatzes auf die Theorie der Lösungen und chemischen Verbindungen geführt wurde. Er war in dieser Beziehung ein Vorläufer von Horstmann und Gibbs, deren gewaltige Leistungen sicher beschleunigt worden wären, wenn ihnen Loschmidts Arbeiten bekannt gewesen wären. Um die Resultate seiner diesbezüglichen Untersuchungen durch das Experiment zu prüfen, stellte er im Keller des physikalischen Institutes in der Erdbergstraße drei riesige, mit Salzlösungen gefüllte Glasröhren auf. Es sollte bestimmt werden, ob sich im Verlaufe der Zeit zwischen den obersten und untersten Schichten der Lösungen ein Konzentrationsunterschied herausbilden werde. Mit der Berechnung der Länge der hierzu erforderlichen Zeit kam er erst nach Aufstellung der Röhren zu Ende und fand dafür rund 3000 Jahre. Zucken Sie hierüber nicht

die Achseln; vor einigen Monaten hat Des Coudres behufs eigener in gewisser Hinsicht analoger Versuche Rechnungen von ganz gleicher Art publiziert, und die Professoren Voigt und Nernst waren nicht wenig erstaunt, als ich ihnen erzählte, daß Loschmidt vor so langer Zeit mit den damaligen Mitteln schon das gleiche Resultat zu erhalten imstande war.

Da der II. Hauptsatz von dieser Seite unangreifbar schien, versuchte es Loschmidt mit anderen Mitteln. Viel beschäftigte ihn die Idee des Umkehrens alles Geschehens, die von Professor Mach durch die Geschichte des Krebses im Mohriner See so drastisch illustriert wurde, der zwar noch nicht den Weltlauf aber bis heute schon wiederholt die Köpfe zahlreicher theoretischer Physiker in Verwirrung brachte.

Ein anderesmal fingierte er winzige intelligente Wesen, welche imstande wären, die einzelnen Gasmoleküle zu sehen, mit irgendeiner Vorrichtung die langsamen von den schnellen zu trennen, und so, wenn alles Geschehen in der Welt aufgehört hätte, neue Temperaturdifferenzen zu schaffen. Bekanntlich wurde dieselbe von Loschmidt nur in ein paar Zeilen einer Abhandlung angedeutete Idee viel später in Maxwells Wärmetheorie vorgebracht und dann vielfach besprochen. Ich wollte sie aber schon damals nicht gelten lassen und wandte dagegen ein, daß, wenn alle Temperaturungleichheiten aufgehört hätten, auch keine intelligenten Wesen sich mehr bilden könnten. In einem Keller von durchaus gleichförmiger Temperatur, sagte ich, kann keine Intelligenz bestehen. Als wäre es heute, so sehe ich Stefan vor mir, der unserem lebhaften Streite schweigend zugehört hatte und nun lakonisch bemerkte: „Nun weiß ich, warum Ihre Versuche mit den großen Glasröhren im Keller so kläglich gescheitert sind."

Verzeihen Sie, wenn ich heute, da wir Loschmidt beweinen, Ihnen das eine oder andere der Scherzworte aus jener Zeit erzähle. Diese scheinen mir mit Loschmidts kindlichem Gemüte, das trotz eines gewissen Hanges zum Schwärmerischen doch voll echten Humors war, nicht minder innig verbunden, als seine Entdeckungen mit seinem Geiste. Wie zahllose am Himmel verstreute Wölkchen noch den Glanz der gesunkenen Sonne wiederspiegeln, bis auch

sie verblassen, so stehen jene Ausflüsse harmloser Heiterkeit jetzt nach Loschmidts Tode noch leuchtend vor meiner Seele.

Daß Loschmidt auch meisterhaft experimentieren konnte, beweist seine Untersuchung über die Diffusion von Gasen ohne poröse Scheidewände. Es gelang ihm da die Lösung eines Problems, an dem sich Graham und Bunsen vergeblich abgemüht hatten; freilich in so einfacher Weise, daß uns das Problem heute gar nicht mehr schwierig vorkommt, und daß später leicht von vielen anderen nach Loschmidts Methode zahlreiche neue wichtige Experimentaluntersuchungen angestellt werden konnten. Auf diese Versuche hat Loschmidt selbst großen Wert gelegt und er erzählte einmal Stefan mit Stolz, daß er schon für die erste Skizze seines Apparates 10 Gulden bekommen hatte. Dieses Rätsel löste sich dahin, daß er mir diese Skizze einmal abends beim alten Blumenstöckel in Ermangelung anderen Papieres auf die Rückseite einer Zehnguldennote vorgezeichnet hatte, die damals noch nicht wie heute magyarisiert war. Gleich nachdem er die Idee gefaßt hatte, ging er an die bei der Beschränktheit der ihm damals zu Gebote stehenden Mittel besonders schwierige Arbeit. Es mußte eine so große Zahl von Schiebern, Hähnen, Rezipienten usw. geschmiert und gedichtet werden, daß er einmal sagte, er fürchte ernstlich, daß seine Versuche eine verhängnisvolle Preissteigerung des Schweinefettes, des einzigen Dichtungsmittels der damaligen Zeit, zur Folge haben könnten.

Aber schließlich hatte er vollen Erfolg. Also nicht überall fehlte das Gelingen, aber es fällt mir gar nicht ein, hier etwas anderes als die reine Wahrheit zu sagen, und deshalb scheue ich mich keinen Augenblick, auszusprechen, daß in der Mehrheit der Fälle seine Versuche mißlangen, teils wegen der Unzulässigkeit der Mittel, teils aber weil seine Versuche meist zu fein ersonnen und deshalb die Chancen ihres Gelingens zu klein waren. Als ich ihm dies einmal vorhielt, zitierte er den Ausspruch Faradays, daß nur der Großes finde, der Unwahrscheinliches versuche.

Übrigens schlug er in heiterer Selbstironie einmal vor, in Wien ein negatives wissenschaftliches Journal, ein Journal für lauter mißlungene Experimente zu gründen. Meine Her-

ren, er ahnte damals selbst nicht, wie interessant es gewesen wäre, wenn er aus diesem Scherze Ernst gemacht hätte. Ich will Ihnen heute einiges sagen, was in dem Journale gestanden wäre. Leider ist die Franklinsche Tafel nicht mehr aufbewahrt, durch welche Loschmidt, nachdem er sie zwischen zwei Nicolsche Prismen gestellt hatte, während der Ladung und Entladung parallel den Seitenflächen durchsah, und auch die Kupferplatte nicht, welche er, genau in derselben Weise montiert, wie es heute behufs Beobachtung des Hall-Effektes geschieht, in ein starkes magnetisches Feld brachte. Wäre im ersten Falle die Glasplatte homogener, im zweiten Falle die Kupferplatte dünner oder durch eine Wismutplatte ersetzt gewesen, so hätte sich sofort das Kerrsche, respektive Hallsche Phänomen gezeigt.

Die von Maxwell, Kirchhoff und Thomson berechnete Theorie der elektrischen Schwingungen beschäftigte uns damals lebhaft. Loschmidt ließ Funken zwischen zwei Metallkugeln überspringen und gab sich viel Mühe, das elektrische Mitschwingen zweier genau gleichbeschaffener, in erheblicher Entfernung davon befindlicher Kugeln durch feine Fünkchen zwischen denselben sichtbar zu machen, aber auch diese Versuche mißlangen vollständig.

Ich bin selbstverständlich weit davon entfernt, in allen diesen Dingen irgendeine Priorität für Loschmidt beanspruchen zu wollen. Zur Entdeckung gehört vor allem die wirkliche Ausführung der Idee; aber Sie werden mich richtig verstehen, wenn ich sage, daß es kaum einen anderen Menschen gegeben hat, dem so Großes mißlungen ist. Welcher Ideenreichtum gehörte dazu, alle diese Entdeckungen vorauszusehen!

Noch eine Geschichte will ich erzählen. Loschmidt hatte mir und Stefan einmal ausführlich von seinem Plane gesprochen, die Schwingungsrichtung im polarisierten Lichte durch Interferenz zweier aufeinander senkrechter polarisierter Lichtstrahlen zu ermitteln. Bald darauf las Stefan in den Sitzungsberichten der Pariser Akademie vom 18. Mai 1868 S. 932, daß dieselbe einem Autor, dessen Namen nicht genannt war, für diese Idee einen Preis von 2000 Francs verliehen hatte. Ich und Stefan gratulierten Loschmidt bei seinem Eintritte ins Institut. Es hatte aber

nicht er, sondern wie sich später herausstellte, ein Herr Jenker aus Berlin zur gleichen Zeit der Pariser Akademie dieselbe Idee als Preisschrift zugesandt.

Es sei mir gestattet, nun einige biographische Daten beizufügen, die ich mehreren Freunden, besonders Herrn Dr. Pomeranz und Herrn Dr. Margulies, verdanke. Josef Loschmidt wurde am 15. März 1821 zu Putschirn bei Karlsbad in Böhmen als Sohn armer Landleute geboren. Er erzählte selbst, wie er als kleiner Knabe bloßfüßig Ziegen hütete und wie er, als ihm einmal an Stelle seines Vaters das Vorlesen des Rosenkranzes anvertraut worden war, durch die Worte: „Bitt' für uns heiliger Savazi und Kravazi", schallende Heiterkeit erregte. Er hatte nämlich den Vater stets so verstanden und war stolz, zu wissen, wie die geschriebenen Worte Servatius und Pankratius ausgesprochen werden. Auch trug er sich einmal mit der Idee, sich Schuhe anfertigen zu lassen, die wie Handschuhe für jede Zehe einen besonderen Finger hätten, da er aus seiner Jugend wisse, wie sehr die freie Beweglichkeit jeder Zehe den Gang erleichtere.

Übrigens war ihm die Feldarbeit so sehr zuwider, daß seine Eltern meinten, er sei zu nichts als zum Studieren tauglich.

Durch Vermittelung des Pfarrers und Lehrers von Putschirn kam er 1833 nach Schlackenwerth, wo er die Grammatikalklassen besuchte, und von dort 1837 an das Prager Gymnasium, wo er nach der damaligen Bezeichnungsweise die Humanitätsklassen und die beiden philosophischen Jahrgänge absolvierte. Er war dort in der ersten Zeit gezwungen, sich durch Stundengeben kümmerlich fortzubringen. Später gestaltete sich seine Lage etwas günstiger, da er die Stelle eines Vorlesers bei dem Professor der Philosophie an der dortigen Universität, Franz Exner, erhielt. Wie sehr ihn dieser schätzte, erhellt daraus, daß er ihn aufforderte, die von Herbart versuchte Anwendung der Mathematik auf philosophische und psychologische Probleme konsequent durchzuführen. Loschmidt arbeitete lange mit Feuereifer an diesem und ähnlichen Problemen; später freilich überwältigte ihn die Überzeugung von der Fruchtlosigkeit solcher Anstrengungen so sehr, daß er im Hinblick auf die Philosophie sagte: Als Apostat sei er jetzt ihr erbittertster Gegner; die

Ausreifung seines Geistes durch diese universellen Studien aber hat er stets dankbar anerkannt und eine Vorliebe für echte Philosophie zeitlebens bewahrt.

Durch die Gönnerschaft Exners sowie des Geologen Haidinger und des Chemikers Meißner wurde es ihm ermöglicht, nach Absolvierung des Gymnasiums zuerst die Universität Prag, dann von 1842 an die Universität und das Polytechnikum zu Wien zu besuchen, wo er vom Studium der Philosophie und Mathematik bald zu dem der Physik und Chemie überging. In Prag wohnte er am Roßmarkt und in der Zeltnergasse, in Wien in dem nun demolierten Hause Eisgrube Nr. 605.

Seine väterlichen Freunde sahen sich manchesmal zu Ermahnungen gezwungen, die wohl seinem allzugroßen Idealismus einen Dämpfer aufgesetzt haben dürften. So hatte ich Gelegenheit, Briefe Haidingers an ihn zu sehen, die noch aus jener schönen alten Zeit stammten, wo jeder Staatsangestellte seine gesamte Korrespondenz durch zwei kreuzweise über die Adresse gezogene Tintenstriche zu frankieren pflegte. In einem derselben suchte er Loschmidt begreiflich zu machen, daß in Wien das möglichst wörtliche Studium des Lehrbuches eines Professors der Physik an dortiger Universität weit förderlicher sei, als die glänzendsten Entdeckungen. In einem anderen redete er ihm den törichten, seinen Vermögensverhältnissen zuwiderlaufenden Gedanken aus, bei Liebig in München und Wöhler in Göttingen zu studieren. Hätte doch Loschmidt Gelegenheit erhalten, diesen Gedanken auszuführen! Vielleicht hätte sich dann das Zeichen manches Kapitels seines negativen wissenschaftlichen Journals umgekehrt!

Aber nicht nur nach Gelegenheit zum Studium im Auslande, sondern überhaupt nach einer dem Dienste der Wissenschaft geweihten Lebensstellung strebte er damals vergebens. Um seinen Lebensunterhalt zu gewinnen, errichtete er mit seinem Kollegen Margulies, mit dem er im chemischen Laboratorium Professor Schrötters am Wiener Polytechnikum ein neues Verfahren zur Gewinnung von Kalisalpeter aus Natronsalpeter entdeckt hatte, zu Atzgersdorf bei Wien eine chemische Fabrik behufs praktischer Ausnutzung dieses Verfahrens.

Da zu jener Zeit die Salpeterfabrikation Staatsmonopol war, erhielten Loschmidt und Margulies die Konzession zur Errichtung der Fabrik nur unter der Bedingung, daß sie sich verpflichteten, dem Ärar jährlich 6000 Zentner Salpeter zu einem bestimmten Preise zu liefern. Bis zum Jahre 1849 ging das Unternehmen recht gut; als aber in diesem Jahre der Krieg mit Ungarn ausbrach und infolgedessen der Preis der Pottasche, die bei der Fabrikation des Salpeters in großen Quantitäten verwendet wurde, beträchtlich stieg, konnten die beiden Konzessionäre, deren Verfahren sich heute zu einer bedeutenden Industrie entwickelt hat, den mit dem Ärar geschlossenen Vertrag nicht einhalten, und die Fabrik ging zugrunde.

Loschmidt trennte sich nun von seinem Kompagnon und übernahm die Leitung einer Papierfabrik zu Peggau in Steiermark. Hier erfand er ein neues Verfahren zur Darstellung von Oxalsäure aus Hadernabfällen und führte die Fabrikation von Salpeter und Aluminiumsulfat ein. Allein, da auch bei diesem Unternehmen der pekuniäre Erfolg ausblieb, verließ er Peggau bald wieder; wir finden ihn zunächst in einer Fabrik in Neuhaus in Böhmen, worauf er der Einladung eines Konsortiums nach Brünn folgte, welches ihn mit der Einrichtung einer Salpeter- und Blutlaugensalzfabrik betraute. Leider wurde auch diese Fabrik vom Schicksale der ersten von ihm geleiteten Salpeterfabrik ereilt, und Loschmidt zog wieder nach Wien, wo er fast ohne Barschaft anlangte. Dort mußte er zuerst einen Hofmeisterposten annehmen und erhielt dann im Jahre 1856, nachdem er noch zuvor die Lehramtsprüfung für Unterreal- und Bürgerschulen abgelegt hatte, die Stelle eines Lehrers an der Volks- und Unterrealschule bei St. Johann in der Leopoldstadt. Er benutzte jetzt alle Zeit, die er bei seiner angestrengten Lehrtätigkeit erübrigen konnte, zur Durchführung wissenschaftlicher Arbeiten. Im Jahre 1865 überreichte er der Wiener Akademie der Wissenschaften seine große Arbeit über die Größe der Luftmoleküle und im selben Jahre und später eine Reihe von anderen Arbeiten, deren Wert dort sofort anerkannt wurde; besonders erwarb er sich die Freundschaft Stefans, der ihn zu Arbeiten in dem physikalischen Institute der Universität heranzog, zu dessen Leitung damals

Stefan gerade berufen worden war. Loschmidt wurde 1867 korrespondierendes, 1870 wirkliches Mitglied der Akademie der Wissenschaften zu Wien. An der Wiener Universität, an welcher er sich 1866 als Privatdozent habilitiert hatte und zwei Jahre darauf zum Ehrendoktor der Philosophie promoviert worden war, wurde er im Jahre 1868 zum außerordentlichen und 1872 zum ordentlichen Professor der physikalischen Chemie ernannt. Im Studienjahre 1877/78 war er Dekan der philosophischen Fakultät derselben. 1891 vollendete er sein 70. Lebensjahr, mußte daher nach österreichischem Gesetze in Pension gehen, und beschloß sein Leben vereinsamt und durch Kränklichkeit verdüstert, in einer sehr bescheidenen Wohnung in der Lacknergasse in Wien, so daß ich mich, als ich, von München nach Wien zurückgekehrt, ihn dort besuchte, nicht enthalten konnte auszurufen: „So beherbergt Wien seine großen Männer!"

Da Loschmidt so lange ohne feste Lebensstellung war, ist es begreiflich, daß er, obwohl dem Junggesellenleben abhold, doch erst im vorgerückten Alter dazu kam, sich einen Hausstand zu gründen, indem er sich mit Fräulein Karoline Mayr verheiratete, an der er eine teilnehmende Gattin und während seiner späteren Kränklichkeit eine treue Pflegerin fand. Dieser Ehe entsproß ein Sohn, der aber bald dem Vater ins Grab nachfolgte.

Man würde sehr irren, wenn man glauben würde, in Loschmidts Kopfe wäre neben der Fülle wissenschaftlicher Ideen nicht noch Raum gewesen für ein feines Verständnis alles Idealen in der Kunst. Mehrmals hörte ich ihn, wenn ich sein Laboratorium betreten wollte, daselbst mit Stentorstimme homerische Verse rezitieren. Ich erinnere mich sehr gut, wie er einmal ein wissenschaftliches Gespräch unterbrach, um die Schönheit der Sixtinischen Madonna zu preisen, von der eine gemalte Kopie über seinem Arbeitstische hing, sowie seines Feuers in den Gesprächen, die ich mit ihm nach gemeinsamem Besuche des alten Burgtheaters oder Hofopertheaters pflog. Da ich schon damals meine Versuche mit aus Schwefelkristallen geschliffenen Kugeln plante und niemand solche schleifen konnte, schlug er mir vor, selbe mit ihm beim Warten vor dem Einlaß ins Burgtheater zu schleifen, wobei er noch von dem in Verwendung kommenden Schwefel-

kohlenstoff eine abwehrende Wirkung auf das andrängende Publikum hoffte. Sitzplätze spendierten wir uns damals nicht immer. Ja selbst der Tanzkunst der Fanni Elsler gedachte er oft mit einer offenbar aus früher Jünglingszeit stammenden schwärmerischen Begeisterung.

In seiner Gesellschaft besuchte ich auch zum ersten Male eines der Wiener philharmonischen Konzerte, wo gerade die Eroica aufgeführt wurde. Ich hörte damals nicht nur das philharmonische Orchester und die Eroica, sondern überhaupt eine Orchesteraufführung einer Beethovenschen Symphonie zum ersten Male. Fürwahr, wenn man gerade solcher Eindrücke gedenkt, drängt sich der Wunsch auf, noch einmal jung zu werden. Aber damals wollte ich besonders gescheit sein. Statt des Scherzo, sagte ich, hätte mir ein in feierlichem Ernste gehaltener, die Apotheose des Helden darstellender Satz besser gefallen. Darauf er: „So, Sie hätten es also besser gemacht als Beethoven! Waren Sie schon einmal beim Begräbnisse eines Ihnen teuren, großen Mannes! Sahen Sie ihn darauf in den Himmel fahren? Nein. Aber zu Ihren täglichen Geschäften mußten sie zurückkehren, die Ihnen doppelt schal erschienen, so daß Sie mit Mühe ein lautes Hohnlachen unterdrückten; das ist das Scherzo und das Finale der Hinblick auf das große Naturganze, demgegenüber der verstorbene Freund gerade so verschwindet, wie im Vergleiche zu seinen Taten das kleinliche Alltagsleben.“ Tagsdarauf erläuterte er mir mit gleicher Klarheit Kirchhoffs Abhandlung über das Verhältnis des Emissions- und Absorptionsvermögens. Daß ich mich bei der Heimkehr vom Begräbnisse Loschmidts dieser seiner Erklärung der Eroica erinnerte, wird man begreifen.

Auch für sozialpolitische, biologische und medizinische Fragen interessierte sich Loschmidt lebhaft. So war er in späterer Zeit, veranlaßt durch ein quälendes Magenleiden, unermüdlich aber wenig glücklich, in der Konstruktion von Apparaten, um die von ihm eingeatmete Luft bakterienfrei zu machen. Heil der Menschheit, wenn ihn einst jemand durch glückliche Lösung dieser Aufgabe ebenso beschämen sollte, wie dies Hall, Kerr, Hertz und Jenker bei den physikalischen Aufgaben gelang!

Nur für das praktische Leben hatte er nie Sinn. Über-

haupt verschloß er seinen Geist für alles, was ihn von seinen idealen Zielen abzog. Er lehrte, ebenso schwer, als die Aufgabe alles Wesentliche zu sehen, sei die gleich wichtige, von allem Unwesentlichen abzusehen und befolgte dies buchstäblich. Als ich ihm einmal den mit unendlicher Mühe von einer dicken Kruste verspritzten Quecksilbers, Öles und Alkohols gereinigten Foucaultschen Interruptor zeigte, fand er, die Drahtschaltungen und den Pendelmechanismus betrachtend, keine Veränderung daran. „Aber der ganze Schmutz ist weg!“ rief ich. Darauf er: „Davon pflege ich zu abstrahieren.“

Selbst seine anfänglichen theoretischen Vorlesungen, welche, wie ich aus Erfahrung weiß, für den Fachmann außerordentlich anregend waren, hielt er so abstrakt und setzte sie so bescheiden in Szene, daß er, wie ich glaube, nie ein großes Auditorium fand. Später war sein Hauptkolleg die Experimentalphysik für Pharmazeuten. Überall kam er durch zu große Bescheidenheit weniger zur Geltung, als er gekonnt und gesollt hätte. Ein österreichischer Staatsmann machte sich einmal mir gegenüber über die Einseitigkeit der deutschen und speziell der österreichischen Gelehrten lustig. Er führte das bekannte Beispiel des Sinologen Pfizmaier an, der anno 1870 vom deutsch-französischen Kriege erst durch die Lektüre einer chinesischen Zeitung Kenntnis erhalten haben soll. Ich weiß nicht, ob das wahr ist, aber wenn, so hatte Pfitzmaier einen großen Vorgänger in Archimedes, der auch, in seine Kreise vertieft, die Eroberung von Syrakus überhörte. In der Tat, so war auch Loschmidt. In seiner Begeisterung für alles Ideale der Wissenschaft und Kunst vergaß er auf das Leben; das gehörte zu den Dingen, von denen er abstrahierte. Gewiß, wir werden dies in unserem Interesse bedauern. Große Männer sollten auch im öffentlichen Leben nicht feiern.

Aber gerade gegenwärtig, wo mehr denn je jede Partei nur für materielle Interessen kämpft, tut die ideale Gestalt eines Mannes wohl, der seine materiellen Interessen vergißt; und so soll uns die Erinnerung an den stillen Dulder in der Lacknergasse, der diesen Sommer am 8. Juli das milde hellblaue Auge für immer schloß, stählen im Kampfe, der heutzutage ausschließlicher denn je auf den Schultern der

Männer der Kunst und Wissenschaft ruht, in dem Kampfe für das Ideale!

Eine zweite Gedenkrede wurde aus Anlaß der Enthüllung des Loschmidtdenkmals im Arkadenhofe der Wiener Universität gehalten.

Diese fand am 5. November unter Beteiligung einer großen Zahl eingeladener Gäste statt, welche sich im kleinen Festsaale der Universität versammelten.

Nach dem Eintreten des akademischen Senates, mit dem Rektor Dr. W. A. Neumann, brachte der akademische Gesangverein den Chor „Die Ehre Gottes" von Beethoven in erhebender Weise zum Vortrage, und darnach hielt Herr Hofrat Dr. Ludwig Boltzmann die nachfolgende Festrede:

„Hochansehnliche Versammlung!

Beethovens Töne sind dem Ohre verstummt, die Seele steht noch in ihrem Banne, und nur ungern gehe ich daran, für meine Gefühle in dürrer, klangloser Prosa Ausdruck zu suchen. Das gesprochene Wort, gemacht den begrifflichen Gedankenprozeß mitzuteilen, ein wie sprödes Werkzeug ist es, wenn sich uns Herz und Gemüt auf die Lippen drängen will. Spricht die Seele, sagt Schiller, so spricht, ach, schon die Seele nicht mehr. Wenn daher der Maler des Prinzen Conti sein Genie daran erkennt, daß er empfindet, was seinen Bildern fehlt, so erlauben Sie, daß auch ich meinen Eifer und meine Begeisterung an dem messe, was zum Ausdrucke zu bringen mir versagt ist.

Ich habe schon, unmittelbar nachdem uns Loschmidt durch den Tod entrissen worden war, seinem Andenken in einem engeren Kreise einen kurzen Nachruf geweiht; nun habe ich die traurige Pflicht zum zweitenmal zu erfüllen. Ich fuhr einmal zu Schiff über einen der schönen Seen unseres gesegneten Vaterlandes. Am Ausgangspunkte der Fahrt sah man einen mächtigen Berg, den man bei der Landung von neuem erblickte. Aber darin lag keine Einförmigkeit; obwohl noch derselbe, hatte der Berg seine Gestalt wunderbar verändert und erregte von neuem ungeschwächtes Interesse. Ähnlich soll ich jetzt, nachdem mein Lebensschiff um ein paar Jahre weiter gerückt ist, zum zweitenmal über Loschmidt sprechen. Nun, ich hoffe, seine Gestalt ist, wie

die jenes Berges, reich genug, um vom neuen Standpunkte aus neues Interesse zu bieten.

Wir wissen, daß uns der Tod alles raubt, was wir besitzen, ob das Leben Ersatz bieten wird, wissen wir nie. So haben sich auch in diesen Räumen die Totenreden in erschreckender Weise gehäuft; ja, was noch erschreckender ist, sie sind sozusagen stereotyp geworden; das Außerordentliche wurde alltäglich. Umgekehrt wie jene griechische Grabschrift den außerordentlichsten Heldenmut als bloße Pflichterfüllung bezeichnet, wird hier die Pflichterfüllung zum Heldentume.

Sobald ich mich in diesem Saale umsehe, steigen vor mir die Gespenster all der rührenden, so oft gehörten Worte auf, vom unermüdlichen Forscher, der der Wissenschaft neue Bahnen bricht, vom unübertrefflichen Lehrer, edlen Manne, hingebenden Freunde, von der gewissenhaften Pflichterfüllung und dem aufopfernden segensreichen Wirken für Staat, Familie und Menschheit. Etwas Rührendes, etwas Erschütterndes und unendlich Erhabenes liegt in dieser ewigen Wiederkehr derselben Worte, wie in dem endlosen Einerlei des wogenden Meeres. Aber es erschiene mir geschmacklos, auch auf Loschmidts Grab einen aus diesen Phrasen zierlich gewundenen Kranz niederzulegen. Er war so ganz und gar nicht alltäglich; er konnte es nicht leiden, wenn von ihm und seinen Vorzügen gesprochen wurde. So will ich daher seinen Wunsch auch heute noch ehren und ihn nicht loben, sondern lieber über das Grenzgebiet der Physik und Philosophie, das Lieblingsthema seiner Gespräche, reden, also wieder fachsimpeln, kann Ihnen nicht helfen.

Eine der wichtigsten Fragen zur Zeit der Vollkraft Loschmidts war die nach der Zusammensetzung der Materie. Sie ist es wohl auch noch heute; nur daß man die Fragestellung etwas anders stilisiert hat. Während man damals die letzten Elemente des Seienden, der Materie selbst suchte, so fragt man heute, aus welchen einfachen Elementen man die geistigen Bilder zusammensetzen muß, um die beste Übereinstimmung mit den Erscheinungen zu erzielen. Was man meint, ist wohl in beiden Fällen so ziemlich dasselbe; doch wir wollen uns zunächst in die Zeit versetzen, in der die Hauptarbeiten Loschmidts erschienen.

Damals hatte man gerade eine Fülle von Tatsachen erkannt, welche darauf hinwiesen, daß die Wärme, die man früher für einen Stoff gehalten hatte, eine Bewegung der kleinsten Teilchen der Körper sei. Man hatte auch eine bestimmte Hypothese über die Art dieser Bewegung aufgestellt. In festen Körpern sollte jedes Teilchen um eine fixe Ruhelage pendelartig hin- und herschwingen: in tropfbaren Flüssigkeiten sollten die Teilchen umeinander herumkriechen, in Gasen dagegen sind die kleinsten Teilchen, welche man ihre Moleküle nennt, viel weiter voneinander entfernt, so daß sie keine erhebliche Wirkung mehr aufeinander ausüben. Da trotzdem jedes derselben in lebhafter Bewegung begriffen ist, so kann diese keine andere als eine geradlinig fortschreitende sein, wie die einer abgeschossenen Flintenkugel; denn sie ist viel zu schnell, als daß die Bahn durch die Schwerkraft eine erhebliche Krümmung erfahren könnte. Nur wenn zwei Moleküle einander ungewöhnlich nahe kommen, was man einen Zusammenstoß nennt, so lenken sie sich ganz wesentlich von der geradlinigen Bewegung ab. Der Druck des Gases, den man früher einer Abstoßungskraft der Moleküle zuschrieb, wurde nach der neuen Ansicht, die man die kinetische Gastheorie nennt, durch die Stöße der Moleküle auf die Gefäßwand erklärt. Es ist dies das erste Beispiel, daß man eine Kraft als eine bloß scheinbare, durch dem Auge verborgene Bewegung hervorgerufene, betrachtete, eine Anschauung, die dann später eine so wichtige Rolle in der Mechanik zu spielen berufen war. Aus der Größe des Druckes berechnete Clausius die Geschwindigkeit, mit der die Gasmoleküle sich durchschnittlich bewegen. Sie ist für verschiedene Gase verschieden und von der Größenordnung der Schallgeschwindigkeit. Würden nun die Gasmoleküle lange Strecken zurücklegen, ohne mit anderen zusammenzustoßen, so müßten sie vermöge ihrer großen Geschwindigkeit fast momentan durch die engste Röhre strömen. In der Tat ist aber die Strömungsgeschwindigkeit in genügend engen Röhren eine sehr geringe, und man nennt die Eigenschaft der Gase, welche dies bedingt, ihre Zähigkeit oder innere Reibung. Aus quantitativen Experimenten über dieselbe fand Maxwell, daß in der Luft unter normalen Verhältnissen jedes Gasmolekül in der Sekunde 5000millionenmal mit

anderen zusammenstößt und daß der Weg, den ein Molekül von einem bis zum nächsten Zusammenstoße durchschnittlich zurücklegt (die sogenannte mittlere Weglänge) etwa gleich dem zehntausendsten Teil eines Millimeters ist. Man könnte also die Molekularbewegung mit einem Menschengedränge vergleichen, wo jeder nach kurzer Verfolgung seines Weges mit einem anderen zusammenstößt, aber wir begegnen hier schon einem drastischen Beispiele der Unvorstellbarkeit dieser molekularen Zahlen. Man bedenke, 5000 Millionen Zusammenstöße jedes einzelnen Individuums im Zeitraume einer einzigen Sekunde.

Trotz der Raschheit der Bewegung entfernt sich infolgedessen jedes Molekül nur sehr langsam von der Stelle, wo es sich anfangs im Zickzack bewegte, wodurch sich auch die langsame Verbreitung eines Gases in ein anderes hinein erklärt.

Die Berechnung der allerwichtigsten Konstante stand noch aus, nämlich der Größe des Bezirkes, innerhalb dessen ein Molekül erhebliche Wirkung auf ein anderes ausübt, wie man kurz sagt, der Größe eines Moleküls. Besser definiert ist diese Größe durch die Anzahl der Gasmoleküle in der Volumeneinheit, welche wir die Loschmidtsche Zahl nennen wollen, da Loschmidt der erste war, dem es gelang, diese Konstante zu berechnen. Er wies zuerst durch mühevolle Überlegungen nach, daß, wie man schon früher vermutet hatte, in allen Körpern, in denen die Moleküle ohne Unterbrechung aneinanderliegen, jedem derselben ein bestimmter Raum zukommt, der durch Druck, Temperaturveränderung usw. zwar etwas vergrößert oder verkleinert, aber dessen Größenordnung nicht total verändert werden kann, wofern nicht enorme, uns ganz unbekannte Kräfte wirksam sind. Diesen Raum definierte er als die Größe eines Moleküles. Ferner machte er wahrscheinlich, daß die Entfernungen, bis zu denen sich die Mittelpunkte zweier Gasmoleküle beim Zusammenstoße nähern, angenähert gleich den linearen Dimensionen dieses Raumes sind. Erst hierdurch war eine feste Basis zur Berechnung der Anzahl der Moleküle gegeben, und es ergab sich die Zahl der Moleküle, welche sich in einem Kubikzentimeter Stickstoff bei der Temperatur Null Grad Celsius und dem Normalbarometerstande befinden, rund gleich 100 Trillionen. Dies ist also die Loschmidtsche Zahl, nach deren

Berechnung alle zum Ausbaue der kinetischen Gastheorie erforderlichen Daten gegeben waren. Jeder in der Geschichte der Naturwissenschaften einigermaßen Bewanderte weiß, wie schwer es ist, der Natur in die Karten zu sehen. Es konnte daher einer Theorie, welche sich eines so tiefen Einblickes in den inneren Bau der Materie vermaß, erst nach der sorgfältigsten Prüfung ihrer Konsequenzen an der Erfahrung Glauben geschenkt werden. Eine höchst merkwürdige Konsequenz dieser Theorie bezüglich der Abhängigkeit der Reibung vom Drucke wurde von Maxwell experimentell bestätigt. Daran anschließende, ebenfalls ganz unerwartete Konsequenzen betreffs der Reibung in verdünnten Gasen aber fanden ihre Bestätigung durch Kundts Versuche.

Wir sahen bereits, daß aus der kinetischen Gastheorie eine große Langsamkeit der Mischung zweier Gase, der sogenannten freien Diffusion folgt. Da nun alle Daten der Gastheorie bekannt waren, so konnte diese Geschwindigkeit in jedem bestimmten Falle quantitativ voraus berechnet werden. Aber die Lösung des Problems, Versuchsbedingungen zu realisieren, unter denen die freie Diffusion so leicht beweglicher Körper wie der Gase genau quantitativ verfolgt und gemessen werden kann, war nur ein einzigesmal von Graham mit sehr geringem Erfolge versucht worden. Da war es wieder Loschmidt, der alle Schwierigkeiten dieses Problems glänzend überwand und die Übereinstimmung der Diffusionsgeschwindigkeit für eine sehr große Zahl von Gaspaaren, sowie für mannigfaltige Drucke und Temperaturen mit der von der Gastheorie berechneten nachwies, natürlich innerhalb der Fehlergrenzen, welche durch unsere Unbekanntschaft mit der näheren Beschaffenheit der Moleküle bedingt sind.

Der analoge Nachweis wurde später für die ebenfalls durch die Molekularbewegung bewirkte Wärmeleitung von Stefan erbracht. Auch für diese ergaben sich für sehr verdünnte Gase ähnliche Konsequenzen, wie bei der inneren Reibung. Letztere wurden erst in neuerer Zeit von Smoluchowsky zum Teil in Loschmidts einstigem Laboratorium unter der Leitung von dessen Nachfolger Professor Franz Exner untersucht.

Die übrigen Erfolge der Gastheorie hier anzuführen, dürfte überflüssig sein, da ich etwa vor einem Monate bei

dem Naturforschertage in München ausführlich davon zu sprechen Gelegenheit hatte.

Auch der Wert der Loschmidtschen Zahl selbst erfuhr die mannigfaltigste Bestätigung und Kontrolle. Nachdem schon Lothar Meyer und Stoney später auf ähnlichem Wege wie Loschmidt eine ähnliche Zahl gefunden hatten, veröffentlichte Lord Kelvin, ohne damals die Arbeit Loschmidts zu kennen, seine berühmte Arbeit über die Größe der Moleküle. Er verficht daselbst ebenfalls die Ansicht, daß die gesamte Materie aus einer sehr großen, aber endlichen Zahl von Bausteinen aufgebaut ist und suchte diese Zahl annähernd zu bestimmen. Die Erfahrungstatsachen, die er zu diesem Zwecke beizog, sind total andere, als die von Loschmidt benutzten, die Resultate stehen aber in bester Übereinstimmung. Lord Kelvin hat übrigens die Priorität Loschmidts mit echt englischer Vorurteilslosigkeit später unbedingt anerkannt. In der folgenden Zeit wurden noch zahlreiche, wieder von ganz anderen Prinzipien ausgehende und ebenfalls aufs beste stimmende Berechnungen der Loschmidtschen Zahl vorgenommen, auf die einzugehen mir hier nicht möglich ist.

Die Bedeutung der Loschmidtschen Zahl reicht also weit über die Gastheorie hinaus, sie bietet den tiefsten Einblick in die Natur selbst, die Antwort auf die Frage nach der Kontinuität der Materie. Wenn wir einen Wassertropfen vom Volumen eines Kubikmillimeters haben, so lehrt die Erfahrung, daß wir ihn in zwei Teile teilen können, von denen jeder wieder ganz die Natur des Wassers hat. Es kann auch jeder wieder in zwei solche Teile geteilt werden usf. Die Loschmidtsche Zahl zeigt uns nun die Grenzen dieser Teilbarkeit; wenn wir den genannten Tropfen in eine Trillion gleicher Teile geteilt haben, so hört die Möglichkeit der Teilung in gleichartige Teile auf. Wir erhalten Individuen, über deren genauere Beschaffenheit wir freilich sehr wenig wissen. Wir werden sie uns wohl noch weiter teilbar denken, die Art der Teilbarkeit aber wird dann eine andere. Die Teile sind nicht mehr gleichartig dem früher gegebenen Wasser.

Freilich sind dies Resultate, deren Richtigkeit heute und vielleicht immer durch direkte Anschauung unbeweisbar ist, da die Teilbarkeit praktisch schon viel früher aufhört. Weil

nun schon oft die Spekulation sich zu weit von der Erfahrung entfernt hatte und dadurch auf Irrwege geraten war, so bildete sich eine Partei, welche alle Schlüsse verwarf, die nur ein wenig über das unmittelbar Handgreifliche hinausgehen und daher auch der Gastheorie abhold war. Allein es ist ein großer Unterschied zwischen den leichtsinnig von der Erfahrung abirrenden Phantasiegebilden der Naturphilosophen und den in bewährten Schlußformen langsam unter steter Kontrolle durch die Erfahrung fortschreitenden Methoden der theoretischen Physik. Die letzteren vermögen bis zu ganz erheblicher Tiefe in die Geheimnisse der Natur einzudringen, ohne den sicheren Boden zu verlieren, ja, sie feiern gerade dann ihre höchsten Triumphe. Beispiele dafür bietet besonders die Astronomie. Kein Gebildeter hegt Zweifel an den von ihr berechneten Siriusfernen der Gestirne, obwohl zwischen denselben nie ein Sterblicher eine Meßkette spannen wird. Ja, aus dem Helligkeitswechsel von ein paar Lichtpunkten am Himmelgewölbe und einer minimalen Verschiebung einiger dunklen Linien in einem lichtschwachen Farbenstreifen kann man mit zwingender Sicherheit auf die Bewegung der Massen schließen, die unsere Sonne weit an Größe übertreffen. Wenn sie auch dieses Muster nicht erreichen, so haben doch auch die Schlüsse der Gastheorie in ähnlicher Weise für jeden, der sie völlig erfaßt hat, einen hohen Grad von Sicherheit.

Ein anderer gegen dieselben erhobener Einwand beruht auf einem Mißverständnisse eines Ausspruches Maxwells, der, wie bekannt, nicht zu den Widersachern, sondern zu den Begründern der Gastheorie zählt. Dieser führt mit besonderer Klarheit und Kraft der Überzeugung den Physikern zu Gemüte, daß alle Theorien nur geistige Bilder der Erscheinungen sind und daß es, statt zu fragen, ob eine Theorie wahr oder falsch sei, zweckmäßiger ist, zu untersuchen, ob sie die Erscheinungen in der vollständigsten und einfachsten Weise darstellt. Während man diesem Gedanken Maxwells in Deutschland anfangs wenig Beachtung schenkte, wurde er später zum Schlagworte und fand die sonderbarsten Anwendungen. Da alle unsere Begriffe und Vorstellungen nur in uns vorhanden sind, sagte man, so können auch die Vorstellungen, die wir uns von den Atomen machen, nicht außer uns existieren; es gibt daher keine Atome und die Lehre von

denselben ist falsch. Freilich unsere molekulartheoretischen Begriffe existieren nur in uns; aber die Erscheinungen, die ihnen konform sind, existieren unabhängig von uns, also außer uns, und wenn wir uns heute statt zu sagen: „Die Moleküle existieren", lieber der Phrase bedienen, „unsere betreffenden Vorstellungsbilder sind ein einfaches und zweckmäßiges Bild der beobachteten Erscheinungen", so mag die neue Ausdrucksweise gewisse Vorteile haben, im Wesen aber dachte man sich bei der alten genau dasselbe.

Nun kamen gar noch die begrifflichen Kernbeißer. Sauerstoff und Wasserstoff existieren im Wasser nicht nebeneinander fort, sondern der begriffliche Kern unserer betreffenden Vorstellungen ist bloß, daß und in welchen Quantitäten sie wieder zum Vorschein kommen. Dieses und ähnliche Argumente sollten gegen die Atomistik sprechen. Gerade so reduziert sich der begriffliche Kern aller unserer Anschauungen von der Fixsternwelt auf die Wahrnehmung von Lichtpunkten und schwachen Farbenbändern mit dunklen Linien, und doch schließen wir aus diesen auf zahllose Welten, größer als die unsrige. Ja, wie schon Fichte auffiel, unterscheiden sich die Wahrnehmungen der wirklichen Gegenstände überhaupt nicht qualitativ, sondern nur quantitativ durch größere Regelmäßigkeit und Beharrlichkeit von den Erinnerungen und Träumen. Wenn ich sage, fremde Länder und Menschen existieren, so ist der begriffliche Kern davon eigentlich nur die Tatsache, daß auf gewisse energische psychische Akte, die man Willensakte nennt (das Lösen der Fahrkarte, Besteigen des Eisenbahnwagen usw.), konsequent und nur vorübergehend durch Schließen der Augen, Einschlafen oder erst nach einer langen Reihe psychischer Akte (durch Rückfahren) abweisbar eine enorme Fülle neuer Vorstellungen folgt, die mittelst Landkarte, Fahrplan usw. mit bewunderungswürdiger Genauigkeit vorhersehbar sind. Davon unterscheidet sich die Erinnerung an die Reise nicht qualitativ; auch an sie knüpfen sich, bevor wir es hindern können, mit Zwang etliche Vorstellungen an; aber diese sind viel unbeständiger, in der kürzesten Zeit sind wir imstande, sie wieder los zu werden, gewissermaßen die Rückreise anzutreten.

Wer sich ausreichend in diese Anschauung verbissen hat, dem scheint es nicht mehr sonderbar, daß oft bloße Vor-

stellungen in ähnlicher Weise auf unser Gemüt wirken wie die Wirklichkeit, was man in einemfort, so beim Eindrucke eines Romanes oder rührenden Theaterstückes, bei der Emotion durch den bloßen Gedanken an ein großes Glück oder Unglück oder durch erotische Vorstellungen bemerken kann, er staunt vielmehr bloß, daß im allgemeinen doch die Wirklichkeit einen so erheblich stärkeren Eindruck macht, als die bloße Vorstellung.

Ich bin der letzte, der eine solche bis zum äußersten getriebene Analyse der Elemente unseres Denkens für uninteressant hält; aber bei Beurteilung der Atomtheorien haben wir sie genau ebensowenig zurate zu ziehen, wie beim Entwurf unseres Reiseplanes.

Phantastischer Spekulationen über die nähere Beschaffenheit der Atome müssen wir uns enthalten; aber, daß gewisse Diskontinuitäten im inneren Bau der Materie vorhanden sind, das wird für immer eine der wichtigsten Tatsachen der Naturwissenschaft bleiben, und eine der größten wissenschaftlichen Entdeckungen, die der Größenordnung der Dimensionen, an welche diese Diskontinuitäten gebunden sind, ist von niemand anderem als unserem Loschmidt gemacht worden. Daran läßt sich einmal nichts mäkeln. Entschuldigen Sie, daß ich es so scharf hinsage, es ist einfach unbestreitbar wahr.

Die anderen auch sehr bemerkbaren Arbeiten Loschmidts, die besonders den sogenannten II. Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie, die Elektrodynamik und stationäre Strömung, Optik, die Kristallographie usw. betreffen, will ich hier nicht weiter analysieren, um Ihre Geduld nicht zu sehr in Anspruch zu nehmen.

Wir Österreicher sind doch sonderbare Leute. Wenn einer von uns etwas recht Großes leistet, so genieren wir uns förmlich, wir getrauen uns gar nicht recht, es öffentlich zu sagen. So riet noch unlängst ein Kollege, die Loschmidtfeier auf einen möglichst intimen Kreis zu beschränken. Andere Menschen sind da ganz anders. Sie glauben sich selbst zu ehren, wenn sie ihre großen Männer verherrlichen, und es muß als rührend bezeichnet werden, wenn sie im Eifer über das Ziel hinausschießen und vor Begeisterung daraus fast Halbgötter machen, während die Geschichte dann freilich

lehrt, daß es Menschen waren, und übertriebenes Lob oft Entgegnungen provoziert, die in der häßlichsten Weise ins andere Extrem verfallen.

So sind für Dubois-Reymond die wirklichen Verdienste Helmholtz' nicht groß genug; er scheut sich nicht, diesen dazu noch mit fremden Federn zu schmücken, Robert Mayer herabzusetzen, Helmholtz' Verdienste um die elektro-magnetische Lichttheorie zu übertreiben und eine die Erklärung der Gravitationstheorie betreffende Phrase vorzubringen.

Wenn auf der einen Seite wir uns fast fürchten, unsere großen Männer zu feiern, so haben diese manchesmal wieder in nicht minderem Grade eine Scheu, Anerkennung zu finden. Ich habe dies schon vor vier Jahren in einer ebenfalls in diesen Räumen gehaltenen Ansprache als eine Charaktereigentümlichkeit unseres dahingegangenen Kollegen Stefan bezeichnet, die ich nicht billigen konnte. Sie raubt nicht nur dem, der sich ihr hingibt, manche Lebensfreude, sie hemmt auch seinen Kontakt mit der übrigen wissenschaftlichen Welt und schmälert dadurch die Erfolge seiner Tätigkeit; wer gleichmäßig nach großen Leistungen und äußerer Anerkennung strebt, erscheint daher als der vollkommenere, bessere.

In noch weit höherem Maße lag diese Eigentümlichkeit im Charakter Loschmidts. Woher mag dies kommen? Sollte dem, der die größten Schwierigkeiten in der Gedankenanalyse und im Experimente spielend überwand, die Kunst schwer gefallen sein, die doch mancher Unbedeutende so leicht trifft, die Kunst, sich selbst geltend zu machen, oder ist es doch die höchste Seelengröße, gegen äußere Anerkennung gleichgültig zu sein? Ich weiß es nicht.

Ein Dichter bezeichnet es als die schönste Freude, einem Freunde in einer Weise Gutes getan zu haben, daß diesem jede Möglichkeit fehlt, es wieder zu vergelten. Welche Wonne muß es hiernach wohl sein, für die ganze Menschheit Großes getan zu haben und dahinzugehen, ohne daß sie vergolten hat?

Wie rührend es ist, wenn Loschmidt, dem die Wissenschaft persönlich so wenig äußere Vorteile brachte, am Schlusse seines Vortrages über die Weltanschauung der mo-

dernen Naturwissenschaft die sichere Hoffnung ausspricht, daß die Forschung einst für die Menschheit das goldene Zeitalter heraufführen werde. Ich fürchte, da täuschte er sich; das goldene Zeitalter, das er in der Zukunft nahend wähnte, es lebte wohl einzig in seiner Brust, und nur wenige Gottbegnadete werden seiner teilhaftig, niemals wir, die wir aus spröderem Stoffe gemacht sind.

Schiller reiht an den letzten Seraph den ersten griechischen Seher; an Stelle dieser uns doch so fern stehenden Figur möchte ich kaum einen Berliner Geheimrat, eher wohl einen Loschmidt setzen. Der Gedanke an solche Männer vermag auch noch in den heutigen Zeitläuften unseren Glauben an den Idealismus aufrecht zu erhalten, der ja so oft von Tacitus bis auf Massenet gerade dem deutschen Volke nachgerühmt wurde, und wenn uns das Leben schal erscheint, dann klagen wir nicht, sondern freuen uns, daß es uns vergönnt ist, auf einer Erde zu leben, die mit den Leibern solcher Menschen gedüngt ist und in einer Wissenschaft zu wirken, welche die Geister solcher Denker befruchtet haben.

Alles in der Welt, sagt man so oft, wird durch das Gold regiert, und glaubt da die höchste Weisheit zu verkünden. Gewiß ist das Gold ein genial erfundener Wertmesser; sein Besitz ist wünschenswert, als Mittel zu manchem guten Zwecke, ich gehöre nicht zu jenen, die mit Nestroy sagen, ich möchte kein Millionär sein, nicht um eine Million; aber anderseits möchte ich wissen, welches wahre, den Menschen dauernd befriedigende Gut für Gold zu haben ist, und es dürfte auch nicht schwer fallen, zu zeigen, daß das menschliche Streben in Wahrheit nicht nach Gold gerichtet ist.

In der Luft ist weniger von der neu entdeckten merkwürdigen Substanz, dem Xenon, enthalten, als in einer gleichen Menge Meerwasser Gold enthalten ist, und doch ist es noch keinem Industriellen eingefallen, aus Meerwasser Gold zu erzeugen, aber Ramsay hat die Mühe nicht gescheut, aus Luft hunderte von Kubikzentimetern Xenon zu gewinnen; denn dieses ist wertvoller als Gold; es ist eine Münze, für die wir ein wahres Gut, nämlich neue Naturkenntnisse, eintauschen können; ähnlich verhält es sich mit anderen seltenen Elementen, Radium, Polonium, Neodym usw., die im buchstäblichen Sinne teurer als Gold sind.

Nun ist Loschmidts Leib in seine Atome zerfallen; in wie viele, können wir aus den von ihm gewonnenen Prinzipien berechnen, und ich habe, damit es in einer Rede zu Ehren eines Experimentalphysikers nicht an jeder Demonstration fehle, die betreffende Zahl dort an die Tafel schreiben lassen (10 Quadrillionen $= 10^{25}$). Diese Zahl ist freilich nur eine runde. Das kleinste Härchen würde Billionen hinzufügen; es können 10mal so viel oder auch 10mal so wenig, sagen wir 100mal so viel oder so wenig Atome sein, aber größer ist der Fehler wohl sicher nicht. Sie werden begreifen, daß bei einer Zahl, von deren Größenordnung man vorher nicht die leiseste Ahnung hatte, selbst eine so ungefähre Bestimmung schon eine Errungenschaft ist, begreifen die Worte des eingangs gehörten Liedes:

Kannst du den kleinsten Staub fühllos beschau'n?

Beim ersten Anblicke des neu errichteten Denkmals konnte ich mich nicht enthalten, nach Lessing auszurufen: Loschmidt, dein Denkmal dieser Stein? Du wirst des Steines Denkmal sein! Nun ist die Hülle seines Denksteins für jeden gefallen, wann wird der Schleier fallen, der noch so vielen das Verständnis seiner Werke verhüllt?"

Nach dieser Rede begaben sich der akademische Senat und die Festgäste in die Arkadenhalle der Universität zu dem Denkmale.

Der Obmann des Exekutivkomitees, Oberst A. von Obermayer, übergab dasselbe an den Rektor der Universität, Professor Dr. Wilhelm Anton Neumann, welcher es mit folgenden Worten übernahm:

„Indem ich das schöne Denkmal für Professor Dr. Josef Loschmidt in den Besitz und die Obhut der Universität übernehme, erfülle ich die mich ehrende Pflicht, allen denen, die an dem Zustandekommen desselben mitgewirkt haben, den wärmsten Dank auszusprechen. Dank der chemisch-physikalischen Gesellschaft. Dank dem Denkmalkomitee, dessen Namen in dieser Widmung niedergeschrieben sind, Dank insbesondere Ihnen, Herr Oberst, für die Bemühungen, deren Ergebnis wir hier vor Augen haben. Herr Bildhauer Anton Schmidgruber hat eine schwere Aufgabe in echt künstlerischer Weise gelöst. Er hat, ohne den Verewigten persönlich gekannt zu haben, nach einer photographischen Aufnahme

ein dem Wesen des Gelehrten entsprechendes Denkmal geschaffen. Noch unter dem Eindrucke der großartigen, begeisternden Rede des Herrn Hofrates Professor Boltzmann trete ich an das schöne Werk heran und sehe die in der Rede betonte Bescheidenheit Loschmidts, dem ich selbst befreundet war, vollends wiedergegeben. Das Auge aufwärts gerichtet, nicht zum Getümmel der Welt, aufwärts zu den lichten Höhen, wo die Ideale thronen.

Den Blick zu den lichten Höhen der Menschheit gerichtet, hat er durch Beobachtung und Rechnung Lehren aufgestellt, die darnach angetan sind, die Weltanschauung des jetzigen und der kommenden Geschlechter umzugestalten. Mögen die diese Räume bevölkernden Generationen es an diesem Denkmal lernen, die Augen hochzuhalten nach den höchsten Idealen der Menschheit.“

16.

Über die Grundprinzipien und Grundgleichungen der Mechanik.[1]

Erste Vorlesung.

Die analytische Mechanik ist eine Wissenschaft, welche schon von ihrem Begründer Newton mit solchem Scharfsinne und solcher Vollendung ausgearbeitet wurde, wie es in dem gesamten Gebiete menschlichen Wissens fast ohne Beispiel dasteht. Die großen Meister, welche auf Newton folgten, haben das von ihm errichtete Gebäude noch weiter gefestigt, und es hatte den Anschein, daß eine vollendetere und einheitlichere Schöpfung des Menschengeistes als die Grundlehren der Mechanik, wie sie uns in den Werken von Lagrange, Laplace, Poisson, Hamilton usw. entgegentreten, überhaupt nicht denkbar wäre. Gerade die Begründung der ersten Prinzipien schien von diesen Forschern mit einem Scharfsinne und einer logischen Konsequenz durchgeführt, die allezeit das Vorbild lieferten, welchem man die Begründung der übrigen Wissenszweige, wenn auch nicht immer mit dem gleichen Erfolge, nachzubilden suchte. Es schien lange ganz unmöglich, dieser Begründung überhaupt noch etwas hinzuzufügen oder daran etwas zu ändern.

Um so auffallender und unerwarteter ist es, daß gegenwärtig hauptsächlich in Deutschland ziemlich lebhafte Kontroversen gerade über die Grundprinzipien der analytischen Mechanik entstanden sind. Es ist dies gewiß nicht so zu verstehen, als ob die Ehrfurcht und Bewunderung, die wir dem Genius eines Newton, Lagrange oder Laplace zollen, dadurch irgendwie geschmälert werden sollte. Diese haben

1) Vorlesungen, gehalten an der Clark-University im Jahre 1899.

aus den kleinen Anfängen, welche sie vorfanden, eine für alle Zeiten mustergültige Herrin geschaffen. Sie hatten so viel des tatsächlich Neuen heraus zu arbeiten, daß sie sich nur aufgehalten und dem einheitlichen Eindruck geschadet hätten, wenn sie bei gewissen Schwierigkeiten und Dunkelheiten zu lange verweilt hätten. Aber seitdem ist unsere Kenntnis von Tatsachen bedeutend gewachsen, unser Verstand ist geschult, so daß viele Vorstellungen, welche zu Zeiten Newtons noch den Gelehrten Schwierigkeiten machten, nun zum Gemeingut aller geworden sind. Dadurch erhielt man Muße, die Konstruktion des Newtonschen Gebäudes gewissermaßen mit der Lupe zu betrachten, und siehe, es ergaben sich manche Schwierigkeiten, wie sie sich ja dem Menschengeiste immer gerade da am meisten entgegenstellen, wo er die einfachsten Grundlagen der Erkenntnis zu analysieren strebt.

Diese Schwierigkeiten sind freilich mehr philosophischer, oder wie man heutzutage sagt, erkenntnistheoretischer Natur. Wir Deutsche sind schon oft und viel verlacht worden wegen unserer Neigung zur philosophischen Spekulation und in früherer Zeit sicher oft mit Recht. Eine von den Tatsachen abgekehrte Philosophie hat nie etwas Brauchbares hervorgebracht und kann es nicht hervorbringen. Von unmittelbar greifbarem Nutzen ist es vor allem, unsere Kenntnis der Tatsachen durch Experimente zu erweitern und auch unsere wissenschaftliche Naturkenntnis wird zunächst und am ausgiebigsten in dieser Weise gefördert. Aber trotz alledem scheint die Neigung, die einfachsten Begriffe zu analysieren, und sich über die Grundoperationen unseres Denkens Rechenschaft zu geben, im Menschengeiste unbezwinglich.

Viel hat sich auch die Methode dieser Analyse im Verlaufe der Zeit vervollkommnet, so daß dieselbe heutzutage, wenn auch noch keineswegs sofort praktisch fruchtbringend, doch lange nicht mehr so wesenlos ist, wie die alte Philosophie. Im Verlaufe der Geschichte erfährt ja das ganze Kulturbild der Menschheit stete und bedeutende Schwankungen. Die Deutschen sind nicht mehr die unpraktischen Träumer von ehemals. Sie haben es auf allen Gebieten der Experimentalwissenschaft, der Technik, Industrie und Politik bewiesen. Die Bestrebungen der Amerikaner waren naturgemäß anfangs behufs Unterjochung des Grundes und Bodens der

rein praktischen Tätigkeit der Industrie und Technik zugewandt. Aber sie sind es längst nicht mehr ausschließlich und schon weist Amerika auf allen Gebieten der abstrakten Wissenschaft Forscher auf, die den hervorragendsten Europas vollkommen ebenbürtig zur Seite stehen. Da Sie daher, meine Herren, einen Deutschen zu Vorträgen in Ihrem Lande geladen haben, so will ich es wagen, ein Gebiet der Erkenntnistheorie mit Ihnen zu betreten.

Ich will zunächst wieder zurückkommen auf die Bedenken, welche gegen die Fundamente der Newtonschen Mechanik erhoben worden sind oder (besser gesagt) zu den Stellen, wo diese noch einer näheren Beleuchtung, einer Analyse der Schlußweise und Sichtung der Begriffe zu bedürfen scheinen. Bei Aufstellung der Bewegungsgesetze betrachtet Newton die Bewegung der Körper als eine absolute im Raume. Der absolute Raum ist aber nirgends unserer Erfahrung zugänglich. Erfahrungsmäßig gegeben sind immer nur die relativen Lagenänderungen der Körper. Es wird also da gleich zu Anfang vollständig über die Erfahrung hinausgegangen, was gewiß bedenklich ist in einer Wissenschaft, welche sich nur die Aufgabe stellt, Erfahrungstatsachen darzustellen. Diese Schwierigkeit ist natürlich dem Genius Newtons keineswegs entgangen. Allein dieser glaubte ohne den Begriff eines absoluten Raumes zu keiner einfachen Formulierung des Trägheitsgesetzes gelangen zu können, um die es ihm an erster Stelle zu tun war und ich glaube, daß er hierin auch Recht behalten hat; denn so viel diese Schwierigkeit auch beleuchtet, oder durchdacht wurde, so ist doch kaum ein wesentlicher Fortschritt erzielt worden. Neumann führt statt des Newtonschen absoluten Raumes einen rätselhaften idealen Bezugskörper ein, womit er offenbar ganz ebenso wie Newton über die Erfahrung hinausgeht. Streintz stellt sich die Aufgabe, derartige Begriffe oder Körper zu vermeiden, indem er lehrt, wie man mittelst der Bewegung eines Gyroskops, auf welches keine oder bekannte Kräfte wirken, relativ gegen ein gewähltes Koordinatensystem entscheiden kann, ob für dieses Koordinatensystem die Newtonschen Bewegungsgesetze gelten, ob es ein brauchbares Bezugssystem ist. Allein diese Streintzschen Betrachtungen scheinen für die Fundamentierung der Mechanik wenig brauchbar, da sie ja bereits die Bewegungs-

gesetze eines rotierenden Kreisels und die Beurteilung, ob auf denselben Kräfte wirken oder nicht, voraussetzen, wozu schon die Kenntnis der Newtonschen Bewegungsgesetze erforderlich ist. Lange versucht allerdings die Formulierung des Trägheitsgesetzes ohne irgend ein Bezugssystem, bloß durch Betrachtung der relativen Bewegung. Sie gelingt ihm auch, fällt aber so kompliziert und weitschweifig aus, daß man sich nur schwer entschließen wird ein so wenig übersichtliches Gesetz an Stelle der einfachen Newtonschen Formel zu setzen. Selbstverständlich geht auch der Vorschlag Machs Gerade, welche durch die Gesamtheit aller Massen der Welt bestimmt sind, oder der Vorschlag, den Lichtäther an Stelle des absoluten Raumes zu setzen, beide freilich in ganz anderer Weise über die Erfahrung hinaus. Ersterer Vorschlag knüpft nämlich wieder an rein ideale transzendente Begriffe an, wogegen letzterer eine Aussage macht, welche zwar erfahrungsmäßig möglicherweise bewiesen werden könnte, aber es gewiß noch nicht ist. Es müßte denn für den Äther eine ganz andere Mechanik gelten, dieser müßte etwa selbst die Ursache des Trägheitsgesetzes, nicht aber demselben unterworfen sein. Eine gleiche Schwierigkeit begegnet man bei Einführung des Begriffs der Zeit. Auch diese wird von Newton als eine absolute eingeführt, während uns eine solche niemals gegeben ist, sondern immer bloß die Gleichzeitigkeit des Verlaufs mehrerer Vorgänge. Jedoch ist hier die Abhilfe leichter, indem man von einem Vorgange ausgeht, der sich immer periodisch unter ganz gleichen Umständen wiederholt. Freilich ist es nicht möglich, absolute Gleichheit der Umstände herzustellen, doch kann man im höchsten Grade wahrscheinlich machen, daß alle Umstände, die überhaupt wesentlichen Einfluß haben, die gleichen sind. Man kann dies noch dadurch erhärten, daß man verschiedenartige Vorgänge von dieser Eigenschaft (die Erddrehung, die Schwingungen eines Pendels, einer Chronometerfeder) untereinander vergleicht. Die Übereinstimmung aller dieser Vorgänge in der Anzeige gleicher Zeiten schließt dann jeden Zweifel an der Brauchbarkeit der Methode aus.

Eine dritte Schwierigkeit betrifft die Begriffe der Masse und Kraft. Daß die Newtonsche Definition der Masse als Quantität der Materie eine nichtssagende ist, wurde längst er-

kannt. Aber auch bezüglich des Verhältnisses der Kraft zur Masse ergeben sich Zweifel. Ist die Masse das allein Existierende und die Kraft nur eine Eigenschaft derselben, oder ist umgekehrt die Kraft das wahrhaft Existierende, oder ist ein Dualismus zweier getrennter Existenzen (Masse und Kraft) anzunehmen, so daß die Kraft eine von der Materie getrennt existierende Ursache der Bewegung der ersteren ist. Hinzu kam in neuerer Zeit noch die Frage, ob auch der Energie Existenz zuzuschreiben ist, oder ob gar letztere das allein Existierende ist.

Es war vor allen Kirchhoff, welcher in diesem Punkte schon der Art der Fragestellung entgegentrat. Oft ist ein Problem schon halb gelöst, wenn die richtige Methode der Fragestellung gefunden ist. Kirchhoff wies es nun zurück, daß es Aufgabe der Naturwissenschaft sei, das wahre Wesen der Erscheinungen zu enträtseln und ihre ersten metaphysischen Grundursachen anzugeben. Er reduzierte die Aufgabe der Naturwissenschaft vielmehr darauf, die Erscheinungen zu beschreiben. Kirchhoff nannte dies noch eine Beschränkung der Aufgabe der Naturwissenschaft. Wenn man aber so recht in die Art und Weise, ich möchte sagen, in den Mechanismus unseres Denkens eindringt, so möchte man fast auch das leugnen.

Alle unsere Vorstellungen und Begriffe sind ja nur innere Gedankenbilder, wenn ausgesprochen Lautkombinationen. Die Aufgabe unseres Denkens ist es nun, dieselben so zu gebrauchen und zu verbinden, daß wir mit ihrer Hilfe allezeit mit größter Leichtigkeit die richtigen Handlungen treffen und auch andere zu richtigen Handlungen anleiten. Die Metaphysik hat sich da dem nüchternsten praktischsten Standpunkte angeschlossen, die Extreme berühren sich. Die begrifflichen Zeichen, welche wir bilden, haben also nur eine Existenz in uns, die äußern Erscheinungen können wir nicht mit dem Maße unserer Vorstellungen messen. Wir können also formell derartige Fragen aufwerfen, ob bloß die Materie existiert und die Kraft eine Eigenschaft derselben ist oder ob letztere von der Materie unabhängig existiert oder ob umgekehrt die Materie ein Erzeugnis der Kraft ist; aber es haben alle diese Fragen gar keine Bedeutung, da alle diese Begriffe nur Gedankenbilder sind, welche den Zweck ha-

ben, die Erscheinungen richtig darzustellen. Besonders klar hat dies Hertz in seinem berühmten Buche über die Prinzipien der Mechanik ausgesprochen, nur stellt Hertz daselbst als erste Forderung die auf, daß die Bilder, welche wir uns konstruieren, den Denkgesetzen entsprechen müssen. Gegen diese Forderung möchte ich gewisse Bedenken erheben oder wenigstens sie etwas näher erläutern. Gewiß müssen wir einen reichen Schatz von Denkgesetzen mitbringen. Ohne sie wäre die Erfahrung vollkommen nutzlos; wir könnten sie gar nicht durch innere Bilder fixieren. Diese Denkgesetze sind uns fast ausnahmslos angeboren, aber sie erleiden doch durch Erziehung, Belehrung, und eigene Erfahrung Modifikationen. Sie sind nicht vollkommen gleich beim Kinde, beim einfachen ungebildeten Manne, oder beim Gelehrten. Wir werden dies auch einsehen, wenn wir die Denkrichtung eines naiven Volkes wie der Griechen mit der der Scholastiker des Mittelalters, und diese wieder mit der heutigen vergleichen. Gewiß gibt es Denkgesetze, welche sich so ausnahmslos bewährt haben, daß wir ihnen unbedingt vertrauen, sie für aprioristische unabänderliche Denkprinzipien halten. Aber ich glaube doch, daß sie sich erst langsam entwickelten. Ihre erste Quelle waren primitive Erfahrungen der Menschheit im Urzustand, allmählich erstarkten sie und verdeutlichten sich durch komplizierte Erfahrungen, bis sie endlich ihre jetzige scharfe Formulierung annahmen; aber als unbedingt oberste Richter möchte ich die Denkgesetze nicht anerkennen. Wir können nicht wissen, ob sie nicht doch noch die eine oder andere Modifikation erfahren werden. Man erinnere sich doch, mit welcher Sicherheit Kinder oder Ungebildete überzeugt sind, daß man durch das bloße Gefühl die Richtung nach oben von der nach unten an allen Orten des Weltraums müsse unterscheiden können, und wie sie daraus die Unmöglichkeit der Antipoden deduzieren zu können glauben. Würden solche Leute Logik schreiben, so würden sie das sicher für ein a priori evidentes Denkgesetz halten. Ebenso wurden anfangs gegen die Kopernikanische Theorie vielfach aprioristische Bedenken erhoben und die Geschichte der Wissenschaft weist zahlreiche Fälle auf, wo man Sätze bald begründete, bald widerlegte mittels Beweisgründen, die man damals für evidente Denkgesetze hielt, während wir jetzt

von ihrer Nichtigkeit überzeugt sind. Ich möchte daher die Hertzsche Forderung dahin modifizieren, daß, insoweit wir Denkgesetze besitzen, welche wir durch stete Bewahrheitung in der Erfahrung als zweifellos richtig erkannt haben, wir die Richtigkeit unserer Bilder zunächst an diesen erproben können, daß aber die letzte und alleinige Entscheidung über die Zweckmäßigkeit der Bilder in dem Umstande liegt, daß sie die Erfahrung möglichst einfach und durchaus treffend darstellen und daß gerade hierin wieder die Probe für die Richtigkeit der Denkgesetze liegt. Haben wir die Aufgabe des Denkens überhaupt und der Wissenschaft insbesondere in dieser Weise erfaßt, so ergeben sich uns Konsequenzen, welche im ersten Augenblick etwas Frappierendes an sich haben. Eine Vorstellung von der Natur werden wir falsch nennen, wenn sie uns gewisse Tatsachen unrichtig darstellt, oder wenn es offenbar einfachere gibt, welche die Tatsachen klarer darstellen, besonders wenn sie allgemein bewährten Denkgesetzen widerspricht, doch sind immerhin Theorien möglich, welche eine große Zahl von Tatsachen richtig darstellen, in anderen Punkten aber unrichtig sind, denen also eine gewisse relative Wahrheit zukommt. Ja, es ist sogar möglich, daß wir in verschiedener Weise ein System von Bildern der Erscheinungen konstruieren können. Jedes dieser Systeme ist nicht gleich einfach, stellt die Erscheinungen nicht gleich gut dar. Aber es kann zweifelhaft, gewissermaßen Geschmacksache sein, welches wir für das einfachere halten, durch welche Darstellung der Erscheinungen wir uns mehr befriedigt fühlen. Die Wissenschaft verliert hierdurch ihr einheitliches Gepräge. Man hielt doch ehedem daran fest, daß es nur eine Wahrheit geben könne, daß die Irrtümer mannigfaltig seien, die Wahrheit aber nur eine einzige ist. Dieser Ansicht muß von unserem jetzigen Standpunkte entgegen getreten werden, freilich ist der Unterschied der neuen Ansicht gegenüber der alten ein mehr formeller. Es war nie zweifelhaft, daß der Mensch niemals den vollen Inbegriff aller Wahrheit zu erkennen vermöge. Diese Erkenntnis ist nur ein Ideal. Ein ähnliches Ideal besitzen wir aber auch gemäß unserer jetzigen Vorstellung. Es ist das vollkommenste Bild, das alle Erscheinungen in der einfachsten und zweckmäßigsten Weise darstellt. Wir wenden daher nach der einen Anschauungsweise den Blick

mehr auf das unerreichbare Ideal, welches nur ein einheitliches ist, nach der anderen auf die Mannigfaltigkeit des Erreichbaren.

Wenn wir nun die Überzeugung haben, daß die Wissenschaft bloß ein inneres Bild, eine gedankliche Konstruktion ist, welche sich mit der Mannigfaltigkeit der Erscheinungen niemals decken, sondern nur gewisse Teile derselben übersichtlich darstellen kann, wie werden wir zu einem solchen Bilde gelangen? wie es möglichst systematisch und übersichtlich darstellen können? Es war früher eine Methode beliebt, welche der von Euklid in der Geometrie angewandten nachgebildet ist, und daher die Euklidische heißen soll. Dieselbe geht von möglichst wenigen, möglichst evidenten Sätzen aus. In den ältesten Zeiten wurden diese als a priori evident, als direkt dem Geiste gegeben betrachtet, weshalb man sie als Axiome bezeichnet. Später dagegen schrieb man ihnen lediglich den Charakter von hinlänglich verbürgten Erfahrungssätzen zu. Aus diesen Axiomen wurden dann bloß mit Hilfe der Denkgesetze gewisse Bilder als notwendig deduziert, und man glaubte so einen Beweis gefunden zu haben, daß diese die einzig möglichen seien und nicht durch andere ersetzt werden könnten. Als Beispiel führe ich die Schlüsse an, welche zur Ableitung des Kräfteparallelogramms oder des Ampèreschen Gesetzes oder des Beweises dienten, daß die zwischen zwei materiellen Punkten wirkende Kraft in die Richtung ihrer Entfernung fallen und eine Funktion dieser Entfernung sein müsse.

Aber die Beweiskraft dieser Schlußweise geriet allmählich in Mißkredit, der erste Schritt hierzu war der, daß man, wie schon früher geschildert, von einer a priori evidenten Grundlage zu einer bloß erfahrungsmäßig bewährten überging. Man sah ferner ein, daß auch die Deduktionen aus jener Grundlage nicht ohne zahlreiche neue Hypothesen gemacht werden konnten, und so wies endlich Hertz darauf hin, daß namentlich im Gebiete der Physik unsere Überzeugung von der Richtigkeit einer allgemeinen Theorie im Wesen nicht auf der Ableitung derselben nach der Euklidischen Methode, sondern vielmehr darauf beruhe, daß diese Theorie in allen bisher bekannten Fällen uns zu richtigen Schlüssen in bezug auf die Erscheinungen leite. Er machte von dieser Ansicht

zuerst in seiner Darstellung der Maxwellschen Grundgleichungen der Lehre von der Elektrizität und dem Magnetismus Gebrauch, indem er vorschlug, sich um deren Ableitung aus gewissen Grundprinzipien gar nicht zu bekümmern, sondern sie einfach an die Spitze zu stellen und die Rechtfertigung hiervon darin zu suchen, daß man nachweisen könne, daß sie hinterher überall mit der Erfahrung übereinstimme; denn diese bleibt doch schließlich die einzige Richterin über die Brauchbarkeit einer Theorie, deren Urteil inapellabel und unerschütterlich ist. In der Tat, wenn wir auf die Lehrsätze näher eingehen, welche mit dem Gegenstande am meisten zusammenhängen, das Trägheitsgesetz, das Kräfteparallelogramm und die übrigen Fundamentalsätze der Mechanik, so werden wir die verschiedenen Beweise, welche in allen Lehrbüchern der Mechanik für jeden einzelnen dieser Sätze geliefert werden, bei weitem nicht so überzeugend finden, als die Tatsache, daß sich alle aus dem Inbegriffe aller dieser Sätze gezogenen Konsequenzen so ausgezeichnet in der Erfahrung bestätigt haben. Die Wege, auf denen wir zu den Bildern gelangten, sind nicht selten die verschiedensten und von den mannigfaltigsten Zufällen abhängig.

Manche Bilder wurden im Verlauf von Jahrhunderten durch das Zusammenwirken vieler Forscher erst allmählich konstruiert, wie die der mechanischen Wärmetheorie. Manche wurden von einem einzigen, genialen Forscher, aber oft wieder auf sehr verschlungenen Umwegen, gefunden und erst dann von andern in die verschiedenartigste Beleuchtung gerückt, wie die besprochene Maxwellsche Theorie der Elektrizität und des Magnetismus. Es wird nun eine Darstellungsweise geben, welche ganz besondere Vorzüge, aber auch wieder ihre Mängel besitzt. Diese Darstellungsweise besteht darin, daß wir eingedenk unserer Aufgabe, bloß innere Vorstellungsbilder zu konstruieren, anfangs lediglich mit gedanklichen Abstraktionen operieren. Hierbei nehmen wir noch gar keine Rücksicht auf etwaige Erfahrungstatsachen. Wir bemühen uns lediglich, mit möglichster Klarheit unsere Gedankenbilder zu entwickeln und aus denselben alle möglichen Konsequenzen zu ziehen. Erst hinterher, nachdem die ganze Exposition des Bildes vollendet ist, prüfen wir dessen Übereinstimmung mit den Erfahrungstatsachen, motivieren also

in dieser Weise erst hinterher, warum das Bild gerade so und nicht anders gewählt werden mußte, worüber wir vorher nicht die leiseste Andeutung geben. Wir wollen dies als die deduktive Darstellung bezeichnen. Die Vorzüge dieser Darstellung liegen auf der Hand. Sie läßt zunächst gar keinen Zweifel darüber aufkommen, daß sie nicht die Dinge an sich selbst bieten will, sondern bloß ein inneres, geistiges Bild, und daß ihr Bestreben bloß darin besteht, dieses geistige Bild zu einer geschickten Bezeichnung der Erscheinungen zu formen. Da die deduktive Methode nicht fortwährend äußere uns aufgezwungene Erfahrungen mit inneren von uns willkürlich gewählten Bildern vermengt, so ist es ihr weitaus am leichtesten, diese letzteren klar und widerspruchsfrei zu entwickeln. Es ist nämlich eines der wichtigsten Erfordernisse dieser Bilder, daß sie vollkommen klar sind, daß wir niemals in Verlegenheit sind, wie wir sie in jedem bestimmten Falle formen sollen, und daß wir jedesmal das Resultat eindeutig und unzweifelhaft aus denselben ableiten können. Gerade diese Klarheit leidet durch zu frühe Vermischung mit der Erfahrung und wird bei der deduktiven Darstellungsweise am sichersten gewahret. Dagegen tritt bei dieser Darstellungsweise besonders die Willkürlichkeit der Bilder scharf hervor, indem man mit ganz willkürlichen Gedankenkonstruktionen beginnt und deren Notwendigkeit nicht anfangs motiviert, sondern erst hinterher rechtfertigt. Davon, daß nicht auch andere Bilder erdacht werden könnten, die ebenso mit der Erfahrung stimmen würden, wird kein Schatten eines Beweises geliefert. Es scheint dies ein Fehler zu sein, ist aber vielleicht gerade ein Vorzug, wenigstens für denjenigen, der die früher auseinandergesetzte Ansicht von dem Wesen jeder Theorie hat. Ein wirklicher Fehler der deduktiven Methode besteht dagegen darin, daß der Weg nicht sichtbar wird, auf welchem man zur Auffindung des betreffenden Bildes gelangte. Aber es ist ja im Gebiete der Wissenschaftslehre die Regel, daß der Zusammenhang der Schlüsse dann am deutlichsten hervortritt, wenn man diese möglichst in ihrer natürlichen Reihenfolge und ohne Rücksicht auf den oft krummen Weg auseinandersetzt, auf welchem dieselben gefunden wurden. Hertz hat auch im Gebiete der Mechanik in seinem bereits zitierten Buche ein Muster einer solchen rein deduk-

tiven Darstellung gegeben. Ich glaube den Inhalt des Hertzschen Buches hier als bekannt voraussetzen zu können und mich daher auf eine ganz kurze Charakteristik desselben beschränken zu dürfen. Hertz geht von materiellen Punkten aus, welche er als reine Gedankenbilder betrachtet. Auch die Masse definiert er ganz unabhängig von aller Erfahrung durch eine Zahl, die wir uns jedem materiellen Punkte beigelegt denken müssen, nämlich die Anzahl der einfachen Massenpunkte, welche er enthält. Aus diesen abstrakten Begriffen konstruiert er eine zunächst natürlich bloß wie die Punkte selbst in Gedanken vorhandene Bewegung. Der Begriff der Kraft fehlt dabei vollständig. An ihre Stelle treten gewisse Bedingungen, welche sich in der Form von Gleichungen zwischen den Differenzialen der Koordinaten der materiellen Punkte schreiben. Diese letzteren sind nun mit gegebenen Anfangsgeschwindigkeiten ausgestattet und bewegen sich in jeder folgenden Zeit nach einem sehr einfachen Gesetze, welches, sobald die Bedingungsgleichungen gegeben sind, die Bewegung für alle Zeiten eindeutig bestimmt. Hertz spricht es dahin aus, daß die Summe der mit den Massen multiplizierten Quadrate der Abweichungen der materiellen Punkte von der geradlinigen, gleichförmigen Bewegung für jeden Zeitmoment ein Minimum sein muß, oder noch kürzer, daß die Bewegung in den geradesten Bahnen geschieht. Es hat dieses Gesetz die größte Ähnlichkeit mit dem Gaußschen Prinzipe des kleinsten Zwanges, ja es ist gewissermaßen derjenige spezielle Fall, der eintritt, wenn man das Gaußsche Prinzip auf ein System von Punkten anwendet, welche zwar einem Zwange, aber keinerlei sonstigen äußern Kräften unterworfen sind.

Ich habe in meinem Buche, welches den Titel hat „Vorlesungen über die Prinzipe der Mechanik", ebenfalls eine rein deduktive Darstellung der Grundprinzipe derselben versucht, aber in ganz anderer Weise, weit mehr an die gewöhnliche Behandlung der Mechanik anknüpfend. Ich gehe wie Hertz von reinen Gedankendingen, exakten materiellen Punkten aus; ich beziehe deren Lage auf ein ebenfalls gedachtes rechtwinkliges Koordinatensystem und denke mir ein geistiges Bild von der Bewegung derselben zunächst in folgender Weise konstruiert. Jedesmal, wenn sich zwei derselben in irgend

einer Entfernung r befinden, soll jeder davon eine Beschleunigung in der Richtung von r erfahren, welche eine Funktion $f(r)$ dieser Entfernung ist, über die später nach Belieben verfügt werden kann. Es sollen ferner die Beschleunigungen beider Punkte in einem zu allen Zeiten unveränderlichen Zahlenverhältnisse stehen, welches das Massenverhältnis der beiden materiellen Punkte definiert. Wie wir uns die Bewegung aller materiellen Punkte zu denken haben, das ist dann eindeutig durch die Angabe bestimmt, daß die wirkliche Beschleunigung jedes Punktes die Vektorsumme aller für ihn nach der früheren Regel gefundenen Beschleunigungen ist und sich zur schon vorhandenen Geschwindigkeit des Punktes ebenfalls so addiert, wie Vektorgrößen addiert werden. Woher diese Beschleunigungen kommen und warum ich gerade die Vorschrift gebe, sich das Bild in dieser Weise zu konstruieren, wird nicht weiter diskutiert. Es genügt, daß das Bild ein vollkommen klares ist, welches in genügend vielen Fällen durch Rechnungen im Detail ausgearbeitet werden kann. Dasselbe findet seine Rechtfertigung erst darin, daß sich die Funktion $f(r)$ in allen Fällen so bestimmen läßt, daß die gedachte Bewegung der eingebildeten materiellen Punkte in ein naturgetreues Abbild der wirklichen Erscheinungen übergeht.

Wir haben durch diese Behandlungsweise, welche wir die rein deduktive genannt haben, die Frage nach dem Wesen der Materie, der Masse, der Kraft, freilich nicht gelöst, aber wir haben diese Fragen umgangen, indem wir ihre Voranstellung vollständig überflüssig gemacht haben. In unserem Gedankenschema sind diese Begriffe ganz bestimmte Zahlen und Anweisungen zu geometrischen Konstruktionen, von denen wir wissen, wie wir sie denken und ausführen sollen, damit wir ein brauchbares Bild der Erscheinungswelt erhalten. Was die eigentliche Ursache sei, daß die Erscheinungswelt sich gerade so abspielt, was gewissermaßen hinter der Erscheinungswelt verborgen ist und sie treibt, das zu erforschen, betrachten wir nicht als Aufgabe der Naturwissenschaft. Ob es Aufgabe einer andern Wissenschaft sei und sein könne, ob wir da nicht vielleicht bloß nach Analogie mit anderen vernünftigen Wortzusammenstellungen hier Worte aneinandergefügt haben, welche in diesen Verbindungen keinen klaren

Gedanken ausdrücken, das kann hier vollständig dahingestellt bleiben. Wir haben durch diese deduktive Methode ebensowenig die Frage nach dem absoluten Raume und der absoluten Bewegung gelöst; allein auch diese Frage hat keine pädagogischen Schwierigkeiten mehr; wir brauchen sie nicht mehr beim Beginne der Entwickelung der mechanischen Gesetze vorzubringen, sondern können sie erst besprechen, wenn wir alle mechanischen Gesetze abgeleitet haben. Denn da wir ja anfangs ohnehin nur gedankliche Konstruktionen vorführen, so nimmt sich ein gedachtes Koordinatensystem keineswegs fremdartig unter denselben aus. Es ist eben eines der verschiedenen uns verständlichen und geläufigen Konstruktionsmittel, aus denen wir unser Gedankenbild zusammensetzen, nicht mehr und nicht weniger abstrakt, als die materiellen Punkte, deren Bewegung relativ gegen das Koordinatensystem wir uns vorstellen, und für welche allein wir zunächst die Gesetze aussprechen und mathematisch formulieren. Beim Vergleiche mit der Erfahrung finden wir dann, daß ein unveränderlich mit dem Fixsternhimmel verbundenes Koordinatensystem praktisch vollkommen ausreicht, um die Übereinstimmung mit der Erfahrung zu sichern. Was für ein Koordinatensystem wir einstens werden zugrunde legen müssen, wenn wir einmal die Bewegung der Fixsterne durch mechanische Formeln ausdrücken könnten, diese Frage steht auf unserm Repertoire an allerletzter Stelle und wir können jetzt alle die Hypothesen von Streintz, Mach, Lange usw., welche eingangs erwähnt wurden, mit Leichtigkeit diskutieren, da uns alle Gesetze der Mechanik bereits zur Verfügung stehen. Wir kommen nicht in dieselbe Verlegenheit wie früher, wo wir diese komplizierten Betrachtungen der Entwickelung des Trägheitsgesetzes hätten voranstellen müssen. Freilich haben wir dafür bei der deduktiven Methode wieder einen Beweis zu liefern, der bei den alten Methoden überflüssig war. Da wir bei den letzteren direkt von den Erscheinungen ausgingen, so verstand es sich von selbst, daß die Gesetze der Erscheinungen nicht von der Wahl des lediglich hinzugedachten Koordinatensystems abhängen können, und es mußte eben frappieren, daß sich diese Gesetze anders und viel komplizierter ausnehmen, wenn wir ein sich drehendes Koordinatensystem einführen. Bei der deduktiven Methode aber haben

wir von vornherein dem Koordinatensystem im Bilde die gleiche Rolle angewiesen wie den materiellen Punkten. Es ist ein integrierender Bestandteil des Bildes und es kann uns nicht wundernehmen, daß dieses verschieden ausfällt, wenn wir das Koordinatensystem anders wählen. Wir müssen hier im Gegenteil aus dem Bilde selbst den Beweis liefern, daß dieses sich nicht ändert, wenn wir beliebige andere Koordinatensysteme einführen, solange sich diese nicht relativ gegeneinander drehen oder nicht mit Beschleunigung relativ gegeneinander bewegen.

Wir wollen nun die zuletzt besprochene Darstellungsweise meines Buches mit der Hertzschen vergleichen. Herr Classen hat meine Darstellung als eine Polemik gegen Hertz aufgefaßt, und die Sache so dargestellt, als ob ich mir einbildete etwas unbedingt Besseres als Hertz vorgebracht zu haben. Nichts weniger als dies. Ich erkenne die Vorzüge des Hertzschen Bildes unbedingt an, aber nach dem Prinzipe, daß es möglich und wünschenswert ist, für ein und dieselbe Erscheinungsgruppe mehrere Bilder aufzustellen, glaube ich, daß mein Bild neben dem Hertzschen noch seine Bedeutung hat, indem es gewisse Vorzüge aufweist, welche dem Hertzschen fehlen. Die Prinzipe der Mechanik, welche Hertz aufstellt, sind von außerordentlicher Einfachheit und Schönheit. Sie sind natürlich nicht vollständig frei von Willkürlichkeit, aber ich möchte sagen, die Willkürlichkeit ist auf ein Minimum beschränkt. Das von Hertz unabhängig von der Erfahrung konstruierte Bild hat eine gewisse innere Vollendung und Evidenz. Es enthält an sich nur wenig willkürliche Elemente. Hingegen steht offenbar mein Bild weit zurück. Letzteres enthält weit mehr Züge, welche den Stempel davon an sich tragen, daß sie nicht durch eine innere Notwendigkeit bestimmt sind, sondern bloß eingefügt wurden, um hinterher dann eben die Übereinstimmung mit der Erfahrung zu ermöglichen. Es enthält auch eine ganz willkürliche Funktion, und von den vielen Bildern, welche entstehen, wenn dieser Funktion alle möglichen Formen erteilt werden, entsprechen nur ganz wenige wirklichen Vorgängen. Während man beim Hertzschen Bilde sofort sieht, daß, wenn überhaupt einige, so doch jedenfalls nur wenige andere Bilder möglich sein können, welche sich einer gleichen Einfachheit und inneren

Vollendung erfreuen, so weckt mein Bild sofort die Idee, daß es wohl noch so manche andere geben mag, welche die Erscheinungen mit gleicher Vollkommenheit darstellen. Trotzdem gibt es aber wieder Punkte, in denen mein Bild dem Hertzschen überlegen ist. Hertz kann zwar einige Erscheinungen in direkter Weise aus seinem Bilde erklären, oder, wie wir lieber sagen wollen, mittels desselben darstellen, so die Bewegung eines materiellen Punktes auf einer vorgeschriebenen Fläche oder Kurve oder die Drehung eines starren Körpers um einen fixen Punkt,, beides wohl gegemerkt, solange keine fremdartigen äußern Kräfte vorhanden sind. Man stößt aber sofort auf Schwierigkeiten, sobald man die gewöhnlichsten in der täglichen Erfahrung vorkommenden Vorgänge darstellen will, bei denen Kräfte wirken. Betrachten wir zunächst eine der allgemeinsten und wichtigsten Naturkräfte, die Gravitation. Als Fernkraft dürfen wir dieselbe vom Hertzschen Standpunkte natürlich nicht auffassen. Es sind nun zwar zahlreiche Versuche gemacht worden, sie durch Wirkung eines Mediums mechanisch zu erklären. Allein es ist bekannt, daß keiner derselben zu einem recht bestimmten, entscheidenden Resultate geführt hat. Einer der bekanntesten ist die schon von Lesage aufgestellte, später von Lord Kelvin, Isenkrahe und andern wieder aufgenommene Theorie der Molekularstöße. Dieselbe ist, abgesehen davon, daß ihre exakte Durchführbarkeit noch immer zweifelhaft, für die Hertzsche Theorie unbrauchbar, weil schon die Erklärung eines einzigen elastischen Stoßes aus derselben Schwierigkeiten bereitet, wie wir sogleich sehen werden. Man müßte also erst eine ganz neue Theorie schaffen, die Gravitationswirkung etwa durch Wirbel, Pulsationen oder ähnliches erklären, wobei die Teilchen des betreffenden Mediums ebenfalls nicht durch Kräfte im alten Sinne, sondern bloß durch Bedingungsgleichungen von der Form, wie sie Hertz aufstellt, verknüpft sein dürften. Selbst, wenn dies gelingen sollte, so hieße dies doch zu einem ganz willkürlichen Bilde greifen, welches höchstwahrscheinlich im Verlaufe der Zeit durch ein ganz anderes ersetzt werden müßte. Der Vorwurf, welchen Hertz gegen die alte Mechanik erhebt, daß sie ein viel zu weites Bild gibt, indem von allen möglichen die Kraft darstellenden Funktionen $f(r)$ nur ganz wenige eine prak-

tische Verwendung haben, läßt sich in verstärktem Maße gegen sein eigenes Bild kehren, sobald man dasselbe auf bestimmte Fälle anwenden will. Schon bei der Anwendung auf die Gravitation muß man aus allen möglichen Medien, welche Fernwirkung vermitteln könnten, irgend ein bestimmtes auswählen, worin wohl noch mehr Unbestimmtheit und Willkürlichkeit liegt, als in der Wahl gewisser Funktionen (*fr*).

Die elektrischen und magnetischen Kräfte hat bekanntlich Maxwell in seinen ersten Arbeiten mit Erfolg durch die Wirkung eines Mediums erklärt. Allein abgesehen davon, daß dieses Medium einen höchst komplizierten Bau hatte und von Eigenschaften strotzte, die den Stempel der Willkürlichkeit und eines rein provisorischen Charakters an sich trugen, so wäre es für Hertz wieder nicht einmal brauchbar, indem seine Teile ebenfalls von Kräften im alten Sinne der Mechanik zusammengehalten werden. Ja, auch die Eigenschaften der elastischen, tropfbarflüssigen und gasförmigen Körper müßten durch neue Bilder ersetzt werden, da die bisherigen alle auf die Annahme von zwischen den Teilchen wirkenden Kräften gegründet sind. Man hat also nur folgende Wahl, entweder man läßt die Natur des Mechanismus, welcher die Gravitation, die elektrischen und magnetischen Erscheinungen erzeugen soll, unbestimmt und willkürlich. Dadurch entsteht eine unerträgliche Unanschaulichkeit, indem man genötigt ist, immer mit Gleichungen zu operieren, von denen man nur einige ganz allgemeine Eigenschaften kennt, deren spezielle Form aber vollständig unbekannt ist, oder man bemüht sich, einen bestimmten Mechanismus zu wählen, wodurch man dann wieder in ebensoviele Willkürlichkeiten als Schwierigkeiten verwickelt wird.

Doch ich will noch an einem viel einfacheren Beispiele die Schwierigkeiten zeigen, auf welche die Anwendung des Hertzschen Fundamentalgesetzes schon in den trivialsten Fällen stößt.

Es seien drei Massen m_1, u und m_2 mit der Bedingung gegeben, daß sowohl die Entfernung $m_1 u$ als auch die $u m_2$ stets gleich derselben Größe a sein soll. Lassen wir dann die Masse u immer kleiner werden, so erhalten wir einen vollkommen dem Geiste der Hertzschen Mechanik entsprechenden Fall, der uns ein getreues Bild des folgenden Natur-

vorgangs gibt. In einer elastischen Hohlkugel von der Masse m_2 bewege sich eine kleine elastische Vollkugel; die Differenz der Radien sei $2a$. Wir haben also hier ein Beispiel eines und desselben Naturvorganges, welcher auf zwei ganz verschiedenen Wegen erklärt werden kann, einesteils aus der Molekulartheorie, andernteils nach der von Hertz angegebenen Methode. Aber so verhalten sich nicht alle Vorgänge. Schon der ganz triviale Fall des Stoßes zweier elastischer Vollkugeln ist aus dem Hertzschen Schema nur durch ziemlich willkürlich gewählte Mechanismen oder komplizierte Annahmen über ein Zwischenmedium ableitbar, da ja die Hertzsche Methode Ungleichungen ausschließt. Es führt also die Hertzsche Methode schon in den einfachsten Fällen zu den größten Komplikationen.

Ich betone hier nochmals, daß diese Ausführungen keineswegs den Zweck haben sollen, den hohen Wert des Hertzschen Bildes zu leugnen, welcher in der logischen Einfachheit seiner Grundprinzipien besteht. Es wäre ja möglich, daß man in ferner Zukunft einmal alle Wirkungen durch Medien erklären kann, deren Eigenschaften nicht phantastisch gewählt, sondern durch die Natur der Sache in naheliegender und unzweideutiger Weise geboten werden. Es wäre möglich, daß die Teilchen dieser Medien nicht Kräfte im alten mechanischen Sinne aufeinander ausüben, sondern daß man mit Bedingungsgleichungen im Hertzschen Sinne zwischen den Koordinaten der Elementarteilchen ausreichen würde. Von diesem Augenblicke an hätte die Hertzsche Mechanik in unzweifelhafter Weise den Sieg davongetragen, und alle andern Darstellungen hätten nur mehr historisches Interesse. Ob man das einstige Eintreffen eines solchen Zeitmomentes für wahrscheinlich hält oder nicht, ist natürlich eine reine Geschmacksache. Bewiesen ist nicht einmal die Möglichkeit einer derartigen Entwicklung unserer Erkenntnis. Wir werden daher auf unserem gegenwärtigem Standpunkte zu jenem Ideale mit Bewunderung aufblicken, auch das unserige zur Beförderung der Annäherung an dasselbe beitragen. Aber einstweilen werden wir solche einfache und unmittelbar brauchbare Bilder, welche sich jetzt schon ins Detail durchführen lassen, neben den Hertzschen nicht entbehren können.

Zweite Vorlesung.

Ich habe in der vorigen Vorlesung zwei Bilder der mechanischen Erscheinungen besprochen, welche beide rein deduktiv sind, das Hertzsche und das in meinem Buche über Mechanik dargestellte. Das letztere unterscheidet sich dem Wesen nach nicht von den älteren Theorien der Mechanik. Ich bemühte mich nur, diese durch eine möglichst konsequente Darstellung gegen etwaige Einwürfe, besonders gegen die Bedenken zu sichern, welche Hertz in der Vorrede seines Buches gegen die ältere Mechanik erhebt. Gerade zu diesem Zwecke schien sich die rein deduktive Darstellung am besten zu eignen, weil sie das Bild ganz unabhängig von den Tatsachen in möglichster Klarheit zu entwickeln erlaubt. Man könnte jedoch das Bild auch nach der entgegengesetzten Methode entwickeln, indem man unmittelbar von den Tatsachen ausginge, wie sie sich der unbefangenen Beobachtung bieten, aus diesen Tatsachen die Bilder erst allmählich entstehen ließe und jede Abstraktion erst dann einführte, wenn sie auf keine Weise mehr abgewiesen werden kann. Diese letztere Darstellung wollen wir die induktive nennen. Dieselbe hat der deduktiven gegenüber den Nachteil, daß die Bilder von Anfang an nicht so rein hervortreten, daher ihre innere Konsequenz nicht so klar zu übersehen ist. Allein sie hat auch wieder den Vorteil, daß sie an Stelle der abstrakten, von der Willkürlichkeit abgekehrten Darstellungsweise der deduktiven Methode eine rein an das unmittelbar Gegebene und Geläufige anknüpfende setzt und möglichst klar erkennen läßt, wie die abstrakten Bilder entstanden sind und warum wir gerade zu diesen Bildern unsere Zuflucht nehmen. Um die Vorzüge und Nachteile der deduktiven Methode mit der induktiven zu vergleichen, wäre es nicht ganz unzweckmäßig, die im vorigen Vortrage geschilderte Methode mit den älteren in der Mechanik üblichen Darstellungsweisen zu vergleichen, da die letzteren beide Methoden vermischen und dadurch, wie mir scheint, die Klarheit beeinträchtigen. So werden in der Regel sehr bald abstrakte Begriffe, wie der des materiellen Punktes, der Masse usw., eingeführt, diese aber nicht, wie von uns in der vorigen Vorlesung als rein gedankliche Werkzeuge aufgefaßt. Es werden vielmehr davon mehr oder minder unbestimmte und

nichts sagende Definitionen gegeben. So wird der materielle Punkt als ein Körper definiert, welcher so klein ist, daß seine Ausdehnung vernachlässigt werden kann. Man meint damit etwa, daß seine Trägheitsmomente bezüglich einer durch seinen Schwerpunkt gehenden Achse gegenüber denen einer andern Achse verschwinden, die sich davon in einer Entfernung von derjenigen Größenordnung befindet, wie sie bei unsern Experimenten für gewöhnlich vorkommen oder ähnliches. Da aber der Begriff des Trägheitsmomentes, Schwerpunktes usw. noch nicht entwickelt worden ist, so wüßte ich nicht, was man sich unter einem Körper, an dem eine der wichtigsten Eigenschaften, nämlich die Ausdehnung vernachlässigt werden kann, denken soll. Die Masse wird oft definiert durch die Wirkung einer und derselben Kraft auf verschiedene Körper, aber wie soll man konstatieren, daß die Kraft dieselbe ist, wenn sie einmal auf diesen, einmal auf jenen Körper wirkt? Es wird daher das beste sein, wenn wir versuchen, noch eine neue rein induktive Darstellung der Grundprinzipien der Mechanik wenigstens mit einigen Strichen zu skizzieren. Wir bleiben dabei unserm Prinzip treu, daß wir vorläufig keineswegs eine einzige beste Darstellung der Wissenschaft erstreben, sondern daß wir es für nützlich halten, möglichst viele verschiedene Darstellungen zu versuchen, von denen jede ihre besondern Vorzüge, freilich auch wieder jede ihre Mängel hat. Das Hauptaugenmerk wird dabei wieder darauf zu richten sein, alle Inkonsequenzen und logischen Fehler zu vermeiden, keinen Begriff oder keine Annahme stillschweigend einzuschmuggeln, sondern uns aller gemachten Hypothesen mit möglichster Klarheit bewußt zu werden. Es versteht sich von selbst, daß ich hier bei der Kürze der mir zur Verfügung stehenden Zeit nicht die ganze Mechanik erschöpfend darstellen kann. Ich werde nur versuchen, einige Andeutungen zu geben. Es wäre wohl auch kaum möglich, eine so schwierige Aufgabe auf einmal ganz der Lösung zuzuführen. Viel wird an dem ersten Versuche noch mangelhaft sein und erst allmählich werden sich die Begriffe sichten und die Darstellungsweisen vervollkommnen. Wir werden da gerade denjenigen Weg einschlagen müssen, der dem in der vorigen Vorlesung geschilderten und in meinem Buche über Mechanik verfolgten

direkt entgegengesetzt ist. Die abstrakten Begriffe des materiellen Punktes, der Masse, Kraft usw., von denen wir dort ausgingen, werden wir nun zwar auch nicht ganz vermeiden können; denn sie sind einmal die Grundpfeiler, auf welche die Mechanik aufgebaut ist. Aber wir werden sie jetzt so spät als möglich einführen, und während wir sie früher postulierten, werden wir jetzt möglichst an die Erfahrung anknüpfen und unsere Resultate daraus zu deduzieren suchen. Daher sind jetzt auch diejenigen Gesetze, welche früher die einfachsten schienen, nicht voranzustellen, wie z. B. das Trägheitsgesetz. Dieses wird gewöhnlich dahin ausgesprochen, daß ein materieller Punkt, welcher jedem äußeren Einflusse entzogen ist, sich geradlinig und gleichförmig bewegt. Abgesehen von der Schwierigkeit, die im Begriffe des materiellen Punktes liegt, können wir nun aber keinen Körper so weit von allen übrigen entfernen, daß er jedem Einflusse entzogen ist, und wäre dies möglich, so könnten wir seine Bewegung nicht mehr beobachten, geschweige denn deren Geradlinigkeit und Gleichförmigkeit konstatieren. Wenn man aber das Trägheitsgesetz an Körpern verifizieren will, an denen sich alle darauf wirkenden Kräfte das Gleichgewicht halten, so müßte man die gesamte Lehre vom Gleichgewichte schon vorausschicken. Man pflegt also in der gewöhnlichen Darstellung Abstraktionen und Tatsachen vielfach zu vermischen, was zu vermeiden eben im folgenden unsere Hauptaufgabe sein soll, da wir uns vornehmen, streng von reinen Erfahrungstatsachen auszugehen.

Die erste Unbequemlichkeit, die uns hierbei entgegentritt, ist folgende: Früher hatten wir es bei Aufstellung der ersten Grundprinzipien mit rein Gedachtem zu tun, das wir in unserer Idee formen können, wie wir wollen, und wovon wir verlangen können, daß es immer exakt unseren Anforderungen entspricht, jetzt dagegen wollen wir von den direkt beobachteten Erscheinungen ausgehen, welche immer sehr zusammengesetzt und kompliziert sind. Wollen wir daraus Grundgesetze gewinnen, so müssen wir die Erscheinungen immer generalisieren und idealisieren, so daß wir schon nicht mehr ganz exakte Tatsachen vor uns haben, sondern Vorgänge, welche in der Natur immer nur mit größerer oder geringerer Annäherung realisiert sind. Wir können es daher

auch nicht ganz vermeiden, Vorstellungen und Tatsachen zu vermengen, aber wir suchen dies wenigstens auf das kleinste Maß zurückzuführen und bestreben uns, es nicht versteckt zu tun, sondern wo wir dazu gezwungen sind, uns dessen klar bewußt zu bleiben.

Die Erscheinungen, welche uns gegeben sind, haben eine außerordentlich verschiedene Natur. Die einfachsten bestehen in Ortsveränderungen eines Körpers, welcher dabei weder seine Gestalt noch seine sonstigen Eigenschaften irgendwie zu verändern scheint. Schon diese einfache Erscheinung ist in gewisser Beziehung eine idealisierte. In den wenigsten Fällen ändert der Körper seine Gestalt absolut gar nicht; ja alle, selbst die unveränderlichsten Körper können durch sehr starke Kräfte zerbrechen, durch Hitze, chemische Wirkungen zu völliger Veränderung ihrer Eigenschaften veranlaßt werden. Aber es gibt sehr viele Körper, die doch ihre Gestalt während der mannigfaltigsten Bewegungen durch lange Zeit nicht bemerkbar ändern. Wir nennen sie feste Körper und bilden uns das Ideal eines absolut unveränderlichen Körpers, welchen wir einen starren nennen. Andere Körper, die Flüssigkeiten, ändern während ihrer Bewegung ihre Gestalt in der mannigfaltigsten Weise, entweder bei (natürlich wieder nur angenähert) gleich bleibendem Volumen (die tropfbaren Flüssigkeiten) oder unter steter, sehr merkbarer Änderung des Volumens, (die Gase). Man kann die letzteren Erscheinungen auf die ersteren zurückführen, indem man annimmt, daß die Flüssigkeiten aus sehr vielen sehr kleinen Teilchen bestehen, deren Bewegung unabhängig voneinander, die Gestaltsänderung hervorruft. Ändert sich dabei die durchschnittliche Entfernung je zweier Nachbarteilchen, so ist dieselbe auch mit Volumänderung verknüpft. Es ist nun die Frage, soll man sich die Anzahl dieser Teilchen mathematisch unendlich oder bloß sehr groß, aber endlich denken. Viele Erfahrungstatsachen deuten darauf hin, daß die letztere Annahme gemacht werden muß, welche auch philosophisch die befriedigendere ist. Aber da eine unzweifelhafte experimentelle Entscheidung bisher nicht erfolgt ist, so wollen wir getreu den Prinzipien, nach denen wir jetzt vorzugehen beabsichtigen, die Frage vollständig in suspenso lassen.

Alle Ortsveränderungen heißen Bewegungen. Die Lehre

von den Bewegungserscheinungen ist die Mechanik, welche sich in die Geo-, Hydro- und Aëromechanik abteilt, je nachdem man es mit der Bewegung fester, tropfbarer oder gasförmiger Körper zu tun hat. Die Mechanik umfaßt ihrer Definition gemäß auch die Bedingungen, unter denen sich ein Körper gar nicht bewegt.

Es gibt noch vielerlei Erscheinungen, der Schall, die Wärme, das Licht, die elektrischen und magnetischen Erscheinungen, die gänzliche Änderung der Eigenschaften von Körpern bei chemischen Prozessen, die Geruchs-, Geschmackserscheinungen usw. Letztere sind wahrscheinlich nur spezielle Fälle von Verdampfungs- oder chemischen Erscheinungen und daher für die Physik von geringerer Wichtigkeit, welche ja die Aktion auf die Nerven und die Fortleitung durch dieselben bis zum Bewußtwerden der Psysiologie und Psychologie überläßt. Aber sie müssen hier doch ebenfalls erwähnt werden.

Es ist unzweifelhaft nachgewiesen, daß den Schallerscheinungen Bewegungen der Körper zugrunde liegen. Naturgemäß suchte man auch Licht, Elektrizität und Magnetismus, so wie die chemischen Erscheinungen durch Bewegungserscheinungen gewisser hypothetischer Medien oder hypothetischer kleinster Teile zu erklären, und bis vor kurzem war wohl jeder Physiker überzeugt, daß hiermit dem Wesen nach die eigentliche Aufgabe der Physik ausgesprochen sei. Erst vor wenigen Dezennien wurde unwiderleglich nachgewiesen, daß die besonders in Deutschland früher allgemein verbreitete Theorie der elektrischen und magnetischen Fluide mit den Tatsachen nicht in Übereinstimmung gebracht werden kann. Man wurde nun vorsichtiger, man suchte zwar die elektrischen und magnetischen Erscheinungen zunächst wieder durch mechanische Wirkung eines Mediums zu erklären, allein da man hierbei nicht zu einem bestimmten eindeutigen Erfolge gelangte, so neigen in neuester Zeit manche Physiker zur Ansicht, daß es wohl ein übereilter Schluß sei, daß sich alle Erscheinungen durch Bewegungsphänomene müßten erklären lassen oder in unsere Ausdrucksweise übertragen, daß es vielleicht gar nicht möglich sei, durch die Bilder von Ortsveränderungen von Punkten und Körperteilen allein sich ein ausreichendes Bild der Erschei-

nungen zu verschaffen; daß man dazu noch qualitativ verschiedene Bilder wie dielektrische und magnetische Polarisationen, chemische Zustände oder anderes dazu nehmen müsse. Es würde dadurch die Einheit der Naturwissenschaft außerordentlich leiden, da man auf keinen Fall die alten einfachen Bilder vermeiden könnte und uns noch eine Menge fremdartiger dazu einführen müßte. Es würde dann auch die Bedeutung der Mechanik als Grundlage der gesamten Naturwissenschaft, auf welcher alle übrigen Theorien derselben beruhen, in Frage gestellt. Aber immer hätte noch die Mechanik als die Lehre der einfachsten Erscheinungen, ohne die irgendwelche andere nicht denkbar sind, allen andern physikalischen Theorien voranzugehn. Wenn man daher auch einerseits nicht leugnen kann, daß der Beweis der mechanischen Erklärbarkeit aller Naturerscheinungen noch nicht geliefert ist, so ist doch sicher ebensowenig ein Beweis geliefert, daß gewisse Naturerscheinungen nicht durch mechanische Bilder erklärbar sein könnten, und man kann höchstens die Ansicht aussprechen, daß bei gewissen Naturerscheinungen der Versuch einer mechanischen Erklärung heute noch zu früh kommt. Die allgemeine Frage an sich kann erst nach Jahrhunderten entschieden oder wenigstens in ein wesentlich neues Licht gerückt und geklärt werden. Wir wollen uns daher mit der Diskussion des „Für" oder „Wider" hier nicht aufhalten, sondern kehren zur Bewegung eines festen Körpers K zurück, den wir sogleich idealisieren, indem wir ihn als absolut starr denken. Wir fassen denselben nicht etwa als einen materiellen Punkt, sondern als einen erfahrungsmäßig gegebenen, wenigstens dem Scheine nach kontinuierlich ausgedehnten Körper auf. Wir müssen freilich wieder sogleich mit einer Abstraktion einsetzen; wir können die Bewegung des Körpers nicht auf einmal als Ganzes erfassen, da er ja (wenigstens für uns scheinbar) aus unendlich vielen Teilen besteht. Wir können bloß die Bewegung einzelner Punkte desselben klar mit dem Auge und Gedanken verfolgen. Wir wollen daher sehr kleine Stellen desselben $A, B, C, \ldots$ mit feinen, selbstverständlich ebenfalls starr mit dem Körper verbundenen Marken bezeichnen, etwa mit feinen Farbepunkten, Mehlstäubchen oder durch die Kreuzung zweier feiner Linien usw. Wenn wir eine außerordentlich enge Höh-

lung in den Körper bohren, so können wir auch Punkte im Innern desselben wirklich bezeichnen und wir können es auch ohne die Höhlung in Gedanken, wenn wir uns etwa einen geometrisch ähnlichen hohlen oder durchsichtigen oder sonst an dieser Stelle zugänglichen Körper vorstellen. Es ist freilich schon wieder eine Idealisierung, wenn wir uns diese bezeichneten Stellen als mathematische Punkte denken; allein wir bleiben doch dem tatsächlich Realen viel näher, wenn wir die Bewegung des ausgedehnten Körpers durch solche Punkte beschreiben und an erster Stelle einfache Gesetze für die Mechanik ausgedehnter Körper zu gewinnen suchen, als wenn wir direkt mit den Gesetzen für die Bewegung einzelner materieller Punkte beginnen. Wir können jetzt genauer beschreiben, was es heißt, wenn wir sagen, die Gestalt eines Körpers ändert sich während seiner Bewegung nicht. Wir können durch Anlegen eines Maßstabes oder zweier Zirkelspitzen, die wir dann auf einen Maßstab übertragen, die Entfernung je zweier beliebiger Punkte des Körpers K, d. h. zweier beliebiger hervorgehobener Marken auf demselben messen. Wenn dieselbe für alle Punktepaare zu allen Zeiten unverändert bleibt, so sagen wir, die Gestalt des Körpers ist unveränderlich. Für die Unveränderlichkeit des Maßstabes oder Zirkels haben wir freilich keine objektive Garantie, sondern nur die empirische, daß uns dieselben an allen Körpern, welche schon dem Augenscheine nach ihre Gestalt nicht ändern, die richtige Anzeige liefern. Wenn alle festen Körper in gleicher Weise ihre Dimensionen mit der Zeit ändern würden, so könnten wir dies natürlich nicht bemerken. Wir haben auch durchaus nicht die Absicht, zu erklären, wieso es feste Körper gibt, wieso wir die Entfernungen der damit fest verbundenen Marken messen können. Wir nehmen dies als Erfahrungstatsachen hin, nur die Gesetze der Veränderung der Entfernungen der Marken verschiedener Körper oder auch desselben Körpers, falls dieser nicht starr ist, wollen wir durch unsere Vorstellungsbilder darstellen.

Vorbedingung jeder wissenschaftlichen Erkenntnis ist das Prinzip der eindeutigen Bestimmtheit der Naturvorgänge, auf die Mechanik angewandt, der eindeutigen Bestimmtheit aller Bewegungen. Dasselbe sagt aus, daß die Bewegungen der

Körper nicht rein zufällig bald so, bald anders vor sich gehen, sondern daß sie durch die Umstände, unter denen sich der Körper befindet, eindeutig bestimmt sind. Wenn jeder Körper sich wie er wollte, bewegte, wenn unter gleichen Umständen bald diese, bald jene Bewegung je nach Zufall erfolgte, so könnten wir dem Verlaufe der Erscheinungen nur neugierig zusehen, nicht ihn erforschen. Auch hierin liegt wieder eine Unbestimmtheit, die Umstände, unter denen die Bewegung irgendeines Körpers vor sich geht, umfassen streng genommen das ganze Universum. Dasselbe ist nie zweimal im selben Zustande. Wir müssen also unsere Bedingungen dahin reduzieren, daß immer dieselbe Bewegung erfolgt, wenn die unmittelbare Umgebung sich in demselben Zustande befindet. Wir sind hier bei der induktiven Methode wieder in einer weit ungünstigeren Lage als bei der deduktiven. Denn da wir bei der letztern mit der Aufzählung der Wirkungsgesetze ohne Rücksicht auf jede Erfahrung beginnen, so liegt es ganz in unserer Hand, gleich anfangs willkürlich festzustellen, von welchen Umständen die Bewegung eines Körpers abhängt und welche darauf ohne Einfluß sind. Bei der induktiven Methode hingegen müssen wir den Begriff der unmittelbaren Umgebung eines Körpers, deren Zustand auf seine Bewegung von Einfluß ist, nach der Erfahrung bestimmen. Nach der Nahewirkungstheorie sind es nur die unmittelbar anliegenden Volumelemente, welche die Bewegung irgendeines Volumelementes bestimmen. Nach dieser Theorie wirkt die Erde nicht direkt anziehend auf den schweren Körper, sondern sie wirkt nur auf die Volumelemente eines Mediums, durch welche sich die Wirkung bis zum schweren Körper fortpflanzt. Aber wenn wir den Prinzipien unserer jetzigen Darstellungsweise treu bleiben wollen, so dürfen wir nicht die Nahewirkungstheorie zur Basis des gesamten Gebäudes der Mechanik machen, wir dürfen vielmehr hierzu nur Gesetze verwenden, welche nichts Willkürliches enthalten, sondern uns durch die Erfahrung eindeutig und notwendig aufgedrängt werden. Die Nahewirkungstheorie aber, so wahrscheinlich sie vielleicht manchem a priori erscheint, geht doch vollständig über das rein Tatsächliche hinaus und kann heutzutage noch keineswegs ins Detail ausgearbeitet werden. Wir würden da in denselben Fehler ver-

fallen, den wir der Hertzschen Darstellungsweise vorgeworfen haben. Wir müßten entweder ganz willkürliche spezielle Hypothesen für die Art und Weise der Nahewirkung erfinden oder uns mit allgemeinen unbestimmten Vorstellungen über dieselbe begnügen.

Wir müssen daher die ganze Erde zur Umgebung des schweren Körpers rechnen, aber Mond und Sterne dabei außer acht lassen, da letztere keinen bemerkbaren Einfluß ausüben. Es ist also wieder eine reine Annahme, welche wir erst nachträglich durch die Erfahrung rechtfertigen müssen, daß wir die unmittelbare Umgebung immer so abzugrenzen vermögen, daß wir alles Wesentliche einschließen, und daß wir so faktisch zu einer Aufstellung von Bewegungsgesetzen gelangen können.

Wie werden wir uns nun bei unserer jetzigen Darstellungsweise dem absoluten Raume und der absoluten Zeit gegenüber verhalten? An einem Teile des absoluten Raumes können wir keine Zirkelspitze einsetzen, sondern nur an materiellen Körpern. Wir können daher nur die Bewegung von materiellen Körpern relativ gegeneinander bestimmen. Wir dürfen jetzt nicht wie bei der deduktiven Methode das Gedankenbild eines fingierten Koordinatensystems unter die von uns gegenwärtig allein betrachteten realen Körper mengen. Dem Geiste unserer Methode entsprechend müssen wir vielmehr unsere Betrachtungen möglichst dem historischen Entwicklungsgange der Mechanik anschließen. Galilei hat die einfachen Bewegungsgesetze gefunden, indem er die Bewegung relativ gegen die Erde studierte. Seinem Beispiele folgend werden wir daher außer dem Körper K, dessen Bewegung wir beschreiben wollen, noch ein System von anderen Körpern in die Betrachtungen mit einbeziehen, welche die Bedingung erfüllen, daß alle ihre Punkte ihre Entfernungen voneinander nicht ändern, daß sie also alle relativ ruhen. Dieses System nennen wir das Bezugssystem. Wenn wir daher die Bewegung eines festen Körpers gegen ein Bezugssystem studieren und wenn $A, B, C \ldots$ markierte Punkte des ersteren, $E, F, G, \ldots$ solche des letztern sind, so ändern sich weder die Entfernungen AB, $AC \ldots$ noch $EF, EG \ldots$ und unsere Aufgabe besteht bloß darin, die Gesetze der Veränderungen, der Entfernungen AE, AF, BF

. . . aufzustellen. Natürlich sind hierbei auch wieder vielerlei Idealisierungen notwendig. Wir werden kein System von Körpern als Bezugssystem auffinden können, welche so beschaffen sind, daß sie zu allen Zeiten relativ gegeneinander ihre Lage absolut beibehalten. Es genügt, wenn diese Bedingung angenähert durch genügend lange Zeit erfüllt ist.

Ferner können wir nicht wissen, ob wir dieselben Gesetze erhalten, wenn wir das eine oder andere Bezugssystem wählen. Wir werden daher jedenfalls ein solches Bezugssystem zu wählen haben, daß wir einfache Gesetze für die Bewegung erhalten. Es zeigt sich in der Tat, daß die Gesetze, welche wir bei Zugrundelegung des Fixsternhimmels als Bezugssystem erhalten, nicht ohne kleine Korrektionen auf die Bewegung relativ gegen die Erde angewandt werden können und es muß als ein für die Entwicklung der Mechanik außerordentlich günstiger Zufall bezeichnet werden, daß der Einfluß der Erddrehung auf die verschiedenen Bewegungen, welche wir auf ihrer Oberfläche beobachten, ein so außerordentlich geringer ist. Sonst wäre es weit schwieriger gewesen, die Grundgesetze der Mechanik herzuleiten. Diesem Umstande ist es zu verdanken, daß wir für die Bewegungen auf der Erde den Erdkörper als Bezugssystem wählen können. Wir erhalten hierdurch einfache Gesetze, denen die wirklichen Bewegungen freilich nicht mit absoluter Genauigkeit folgen, aber die Abweichungen sind so gering, daß sie sich fast der Beobachtung entziehen. Dies könnten wir freilich nicht a priori wissen; aber es ist kein logischer Fehler, wenn wir zunächst die Gesetze der Relativbewegung gegen die Erde studieren. Finden wir einfache Gesetze, so ist es wieder kein logischer Fehler, deren Anwendung auf die Bewegung der Planeten relativ gegen das Fixsternsystem zu versuchen. Bei dieser Erweiterung zeigt sich dann erst einesteils, daß sie auch für den ersten Fall angenähert richtig sein müssen, anderseits aber, daß derselbe doch kleiner Korrektionen bedarf. Die Korrektionen sind so klein, daß sie uns bei Auffindung der Gesetze aus den irdischen Bewegungen nicht störten, daß sie aber jetzt, nachdem wir ihre Größenordnung kennen gelernt haben, doch mit feinen Hilfsmitteln beobachtet werden können. Daß die wirklichen Bewegungen dann gerade die durch diese Korrektionen bedingten Eigentümlichkeiten zeigen, recht-

fertigt nachher in glänzender Weise unsere Methode. Hiermit ist wieder die pädagogische Schwierigkeit beseitigt, welche durch die Relativität aller Bewegungen bedingt wird. Die Frage, auf welches Bezugssystem wir die Fixsternbewegungen zu beziehen haben, ist hiermit freilich nicht gelöst, aber es liegt in keiner Weise eine Notwendigkeit vor, diese Frage vor Aufstellung der sämtlichen Gesetze der Mechanik zu behandeln.

Wir haben bisher über die Gestalt und Anordnung der Körper des zugrunde gelegten Bezugssystems keine besondere Annahme gemacht. Es hat nun keine Schwierigkeit mit denselben, drei fixe aufeinander rechtwinklige Gerade verbunden zu denken, welche man als Koordinatenaxen wählen kann. Die Lage jedes an dem betreffenden Körper markierten Punktes ist dann zu jeder Zeit durch dessen rechtwinklige Koordinaten bezüglich dieses Koordinatensystems bestimmt. Wenn sich diese mit der Zeit nicht ändern, so befindet sich der Körper in relativer Ruhe gegen das Bezugssystem. Wenn sie sich ändern, so ist er in Bewegung. Um den letztern Fall beschreiben zu können, ist noch die genaue Fixierung des Zeitmaßes erforderlich. Gerade so wie wir schon mit Hilfe des Augenmaßes oder des Tastgefühles größere räumliche Ausdehnungen von kleineren unterscheiden, einen genauen zahlenmäßigen Ausdruck der Raumgröße aber nur durch Vergleich mit einem rationell konstruierten Maßstabe gewinnen können, so können wir auch schon durch das Gefühl (den Zeitsinn) längere Zeiträume von kürzeren unterscheiden, müssen uns aber ein genaues quantitatives Zeitmaß durch die Hilfsmittel verschaffen, welche schon in der ersten Vorlesung angedeutet wurden. Wir müssen uns da vor allem eine Reihe von Vorgängen verschaffen, bei denen wir vollkommene, oder besser gesagt, tunlichste Garantie haben, daß sie sich in gleichen Zeiten abspielen. Wir können etwa ganz gleiche Körper unter ganz gleichen Umständen fallen lassen oder ganz gleiche Pendel um gleiche Strecken aus der Ruhelage entfernen. Wenn das erste die Ruhelage erreicht, lassen wir das zweite seine Bewegung beginnen usw. Ob wir gegenseitige Störungen wirklich genügend vermieden haben, kann natürlich nur der Vergleich mit verschiedenen analogen Versuchen zeigen. Wir sehen natürlich bald, daß auch

ein Pendel die verschiedenen sich folgenden Schwingungen nahe unter den gleichen Umständen vollzieht und können diese zur Zeitmessung benutzen. Freilich ist der absolute Isochronismus der Schwingungen wieder ein Ideal, Temperatur, Barometerstand, Sonne und Mond haben darauf Einfluß, aber wie alle diese störenden Umstände bei gut gearbeiteten Chronometern möglichst vermieden werden, wie durch eine treibende Kraft die Schwingungen sehr lange erhalten werden, daß man, wenn ein bestimmtes Chronometer endlich unbrauchbar wird, dafür ein anderes möglichst gleichbeschaffenes substituieren kann, das alles ist nicht mehr Sache unserer gegenwärtigen allgemeinen Betrachtungen.

Wir wählen einen bestimmten Zeitmoment, z. B. den, der einem bestimmten willkürlich gewählten Durchgang durch die Ruhelage entspricht, als Zeitmoment Null, den des nächsten Durchgangs durch die Ruhelage als Zeit 1, die weiter folgenden als die Zeiten 2, 3 usw. Die Unterabteilungen können wir durch schneller schwingende Stimmgabeln oder durch Bewegungen bestimmen, die sich für größere Intervalle unter allen Umständen als genügend gleichförmig erwiesen und von denen wir Ursache haben, dies auch für kleinere Intervalle zu vermuten. So gewinnen wir die Zeiten $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ usw. und es läßt sich keine Grenze der Unterabteilung feststellen. Die negativen Zahlen bezeichnen die Schwingungen vor derjenigen, der wir die Zeit Null zugeordnet haben. In dieser Weise können wir alle Zeiten durch positive, negative, ganze, gebrochene, irrationale Zahlen darstellen, wie wir die Längen durch die Zahl darstellen, welche angibt, wie oftmals sie die Längeneinheit enthalten. Die Differenz der Zahlen, welche zwei gegebene Zeiten darstellen, heißt das dazwischen liegende Zeitintervall oder die Zeitdifferenz auch die inzwischen verflossene Zeit. Unsere gewöhnliche Zeiteinheit leiten wir von der Umdrehungszeit der Erde ab, deren Gleichförmigkeit aber bei Ableitung der Prinzipien der Mechanik wohl besser durch einfachere Vorgänge kontrolliert wird, da es ohne Kenntnis der mechanischen Gesetze nicht so ohne weiteres evident ist, daß die Umdrehungsgeschwindigkeit an allen Stellen der Erdbahn dieselbe bleibt.

Wir kehren nun zurück zu unserem Körper K, den wir

auf ein mit dem gewählten Bezugssysteme fest verbundenes Koordinatensystem Ox, Oy, Oz beziehen. Ein auf demselben hervorgehobener Punkt befinde sich zu einer bestimmten Zeit t in A und habe die rechtwinkeligen Koordinaten x, y, z. Wir verbinden ihn durch die Gerade OA mit dem Koordinatenursprunge: Diese Gerade heißt der Lagenvektor des Punktes A, ihre Projektionen auf die drei Koordinatenaxen sind die drei Koordinaten x, y, z. Wenn nun der Körper eine gewisse gegebene Bewegung macht, so müssen wir zunächst jeden Zeitmoment der Bewegung etwa durch Vergleichung der gleichzeitigen Bewegung unseres Chronoskops durch eine Zahl darstellen. Es wird zu jeder Zeit eine bestimmte Lage des Körpers gehören, daher auch des Punktes A desselben, daher auch bestimmte Werte der Koordinaten x, y, z, welche wir uns ebenfalls durch reine Zahlen (ganze oder gebrochene Vielfache der Längeneinheit) dargestellt denken. Zu jedem Zahlenwerte der Zeit t gehört also ein eindeutig bestimmter Zahlenwert der Koordinate x, x ist eine eindeutige Funktion von t, ebenso y und z. Wir schreiben dies so $x = \varphi(t)$, $y = \chi(t)$, $z = \psi(t)$ und nennen t das Argument oder die independente Variabele, x, y, z aber die dependenten Variabeln. Wir können es zunächst als hinlänglich sicher gestellte Erfahrungstatsache betrachten, daß ein Körper nie aus einer Lage plötzlich verschwindet und im nächsten Zeitmomente in einer andern um Endliches davon Verschiedenen wieder zum Vorschein kommt, und daß dies auch von jedem Teile eines Körpers gilt, daß also φ, χ, ψ kontinuierliche Funktionen der Zeit sind, d. h. ihre Zuwächse verschwinden um so mehr, je kleiner der entsprechende Zuwachs der Zeit ist. Die von den verschiedenen Lagen des Punktes A zu den verschiedenen Zeiten gebildete Kurve nennen wir die Bahn dieses Punktes, denjenigen Teil derselben, welcher allen Lagen, die während einer gegebenen Zeit durchlaufen werden, entspricht, den während dieser Zeit zurückgelegten Weg.

Nicht ganz so sicher als die Kontinuität der Funktionen φ, χ, ψ ist es, ob sie auch differenzierbar sind. Man drückte sich in der alten Mechanik folgendermaßen aus. Es lege ein Punkt eines Körpers, während einer sehr kleinen Zeit δt einen sehr kleinen Weg δs zurück. Es sei nun a priori evi-

dent, daß sich während dieser kleinen Zeit, die Umstände, unter denen sich der Körper befindet, nur sehr wenig geändert haben können, daß er daher, während der nächstfolgenden Zeit δt wieder einen sehr nahe gleichen und gleich gerichteten Weg δs zurücklegen muß, so daß also für kleine Zeiten sowohl der Weg als auch die Koordinatenzuwächse der verstrichenen Zeit proportional sein müssen. Man glaubte damals überhaupt, daß jede überall endliche kontinuierliche Funktion einen Differenzialquotienten haben muß. Weierstraß hat bekanntlich gezeigt, daß dies ein Irrtum ist. Bezeichnen wir z. B. mit y die Weierstraßische Reihe, so nähert sich der Zuwachs des y, der irgendeinem Zuwachse des x entspricht, an allen Stellen, immer mehr der Nulle, wenn sich der betreffende Zuwachs des x der Nulle nähert und trotzdem nähert sich der Quotient beider Größen niemals einer bestimmbaren Grenze. Bei der deduktiven Darstellung ergibt sich hieraus wieder nicht die mindeste Schwierigkeit. Wir können ja dann unser Bild formen, wie wir wollen und einfach die Differenzierarbeit von vornherein in dasselbe aufnehmen, es damit rechtfertigend, daß das Bild hinterher mit der Erfahrung stimmt. Aber jetzt ist es unsere Absicht, von der Erfahrung auszugehen. Nun lehrt uns zwar diese, daß sehr häufig, während kleiner noch beobachtbarer Zeiten der Weg eines Punktes eines Körpers um so genauer der verflossenen Zeit proportional ist, je kürzer diese ist, woraus wir wohl auf die Differenzierbarkeit der Funktionen φ, χ, ψ schließen können. Allein wir kennen auch Beispiele sehr rascher Oszillationen und können nicht exakt beweisen, ob nicht in gewissen Fällen Bewegungen vorhanden sind, wie z. B. die Wärmebewegungen der Moleküle, welche durch eine der Weierstraßschen Funktion ähnliche besser als durch eine differenzierbare dargestellt werden. Doch sind dies allerdings Dinge von geringerer Wichtigkeit und wir wollen daher die Differenzierbarkeit der Koordinaten nach der Zeit unsern weitern Überlegungen zugrunde legen. Unter dieser Voraussetzung existieren die Ableitungen der Funktionen φ, χ, ψ nach der Zeit. Wir nennen sie Komponenten der Geschwindigkeit des Punktes A des Körpers. Die Geschwindigkeit selbst können wir in folgender Weise konstruieren: Es befinde sich der markierte Punkt des Körpers zur Zeit t in A, zur Zeit

$t + \delta t$ in B, so daß also OA und OB die dazugehörigen Lagenvektoren sind. Die Gerade AB ist dann das, was man die Differenz der beiden Vektoren nennt. Wir konstruieren nun einen Vektor, welcher die Richtung AB hat und dessen Länge der Quotient AB dividiert durch δt ist. Ferner suchen wir die Grenze, welcher sich dieser Vektor in Größe und Richtung nähert, wenn δt immer mehr abnimmt. Die so bestimmte Länge ist die Geschwindigkeit, die Richtung aber, der sich der Vektor nähert, die Geschwindigkeitsrichtung. Wir wollen hier noch eine Bemerkung anfügen. Damit wir den Weg durch die verflossene Zeit dividieren können, müssen beide durch reine Zahlen ausgedrückt sein und wir haben gesehen, wie dies geschieht. Wählen wir die Längeneinheit a mal so groß, so wird die Zahl, welche nun eine gewisse Länge ausdrückt, a mal kleiner. Es ist möglich, daß auch andere Größen dieselbe Eigenschaft haben, daß sie durch a mal kleinere Zahlen ausgedrückt erscheinen, sobald wir die Längeneinheit a mal vergrößern. Von allen so beschaffenen Größen sagen wir dann, daß sie die Dimension einer Länge haben. Jede Länge (der Weg, die Koordinaten usw.) hat daher selbstverständlich die Dimension einer Länge. Die Zahl, welche uns die Zeit t ausdrückt, ist natürlich unabhängig von der gewählten Längeneinheit, wird aber a mal kleiner, wenn wir die Zeiteinheit a mal größer wählen und wir sagen von jeder Größe, welche durch eine Zahl von dieser Eigenschaft ausgedrückt wird, sie habe die Dimension einer Zeit. Die Geschwindigkeit wird durch den Quotienten zweier Zahlen gemessen, wovon der Zähler die Dimension einer Länge, der Nenner die einer Zeit hat. Sie ist also sowohl von der Wahl der Längen als auch von der Zeiteinheit abhängig, und wird a mal kleiner, wenn die erstere a mal größer, dagegen a mal größer, wenn die letztere a mal größer gewählt wird. Wir sagen daher, ihre Dimensionen sind: Länge dividiert durch Zeit, was aber hiermit jeder geheimnisvollen oder metaphysischen Bedeutung entkleidet ist. Man redet vielfach statt von dem Quotienten der Zahl, welche die Zeit ausdrückt in die, welche die Länge ausdrückt, einfach von dem Quotienten einer Zeit in eine Länge. Man hat da den Begriff der Division erweitert und muß den Quotienten einer Zeit in eine Länge ganz neu definieren, geradeso wie man den Begriff einer

negativen oder gebrochenen Potenz neu definiert und darunter einen Bruch, respektive eine Wurzel versteht. Der Vorteil dieser neuen Definition besteht darin, daß man vielfach Rechnungsregeln, welche für die frühere Definition bewiesen wurden, auf die neue Definition übertragen kann. Man darf aber nicht a priori schließen, daß dies von allen Rechnungsregeln gilt; es muß vielmehr die Übertragbarkeit von jeder Rechnungsregel besonders bewiesen werden. Ebenso ist es eine vollständig neue Definition, wenn wir unter der zweiten oder dritten Potenz eines Zentimeters die geometrische Figur eines Quadrats oder Würfels von 1 cm Seitenlänge verstehen und es muß gerechtfertigt werden, inwieweit diese neue Definition zweckmäßig ist. Die Fixierung des Begriffs der Beschleunigung und ihrer Komponenten nach den drei Koordinatenrichtungen hat nun nicht mehr die mindeste Schwierigkeit. Sei AC der Vektor, welcher in Größe und Richtung die Geschwindigkeit zur Zeit t, OD der, welcher sie zur Zeit $t + \delta t$ darstellt. Wir ziehen die Gerade CD, also die Differenz der beiden Vektoren. Dieselbe wird sehr klein sein, wenn δt sehr klein ist. Wir erhalten aber eine endlich bleibende Gerade, wenn wir sie im Verhältnis der Zeiteinheit zur Zeit δt vergrößern, wobei ihre Richtung unverändert bleiben soll. Die Grenze, welcher sich der so vergrößerte Vektor CD mit abnehmendem δt nähert, heißt der Beschleunigungsvektor, seine Länge stellt die Größe, seine Richtung die Richtung der Beschleunigung dar. Seine Komponenten in den drei Koordinatenrichtungen heißen die Komponenten der Beschleunigung. Man überzeugt sich in bekannter Weise, daß es die zweiten Ableitungen der früher mit φ, χ, ψ bezeichneten Funktionen sind. Wir müssen daher die Voraussetzung machen, daß diese Funktionen auch zweite Ableitungen haben. Man überzeugt sich auch leicht, daß die Zahl, welche die Größe der Beschleunigung ausdrückt, wieder sowohl von den gewählten Längen, als von der gewählten Zeiteinheit abhängt, und a mal kleiner wird, wenn erstere a mal so groß, dagegen a^2 mal größer, wenn die Zeiteinheit a mal so groß gewählt wird. Wir werden daher sagen, die Beschleunigung hat die Dimensionen: Länge dividiert durch das Quadrat der Zeit. Wir können wieder die Beschleunigung als solche definieren, als den Quotienten einer Zeit in eine

Geschwindigkeit oder des Quadrats einer Zeit in eine Länge; dürfen aber die letzteren Definitionen nur mit einer gewissen Vorsicht anwenden, da sie Erweiterungen des Begriffs der allgebraischen Division darstellen, für welche die Anwendbarkeit der verschiedenen in der Algebra bewiesenen Rechnungsregeln erst neu erprobt werden muß.

Nachdem wir diese Begriffe möglichst an die Erfahrung anknüpfend entwickelt haben, müssen wir zur Aufstellung der Gesetze übergehen, nach welchen die Bewegung der Körper geschieht. Wir werden da natürlich wieder nicht mit Aufstellung der Gesetze für die Bewegung eines materiellen Punktes beginnen, da dieser eine reine Abstraktion ist. Wir werden uns natürlich auch nicht der Illusion hingeben, daß wir ohne alle Abstraktionen auskommen. Wir können nach meiner Ansicht nicht einen einzigen Satz aussagen, welcher wirklich nur eine reine Erfahrungstatsache wäre. Die einfachsten Worte wie gelb, süß, sauer usw., welche bloße Empfindungen anzugeben scheinen, drücken schon Begriffe aus, die bereits aus vielen Erfahrungstatsachen durch Abstraktion gewonnen worden sind. Wenn Goethe sagt, die Erfahrung ist nur zur Hälfte Erfahrung, so will er mit diesem scheinbar paradoxen Satze sicher ausdrücken, das wir bei jeder begrifflichen Auffassung der Erfahrung oder Darstellung derselben durch Worte schon über die Erfahrung hinausgehen müssen. Die oft aufgestellte Forderung, daß die Naturwissenschaft nie über die Erfahrung hinausgehen dürfe, sollte daher nach meiner Ansicht dahin ausgesprochen werden, daß man nie zu weit über die Erfahrung hinausgehen dürfe und nur solche Abstraktionen einführen solle, die sich bald wieder an der Erfahrung prüfen lassen. Wir werden auch nicht das Trägheitsgesetz an die Spitze stellen. Dieses mag theoretisch das einfachste Gesetz der Mechanik sein, physikalisch ist es keineswegs das einfachste, da es eine ganze Reihe von Abstraktionen zur Voraussetzung hat, worauf ich schon früher hingewiesen habe. Als die beiden physikalisch einfachsten Fälle erscheinen uns vielmehr erstens der der relativen Ruhe, zweitens der freie Fall eines schweren Körpers. Wie wir sahen, können wir einen Körper niemals ganz den äußern Einflüssen entziehen. Wenn nun solche Einflüsse vorhanden sind, von denen jeder für sich allein eine Bewegung erzeugen

würde, wenn aber unter dem vereinten Einflusse aller relative Ruhe gegen das Bezugssystem Platz greift, so sagen wir, alle Ursachen der Relativbewegung kompensieren sich. Ich könnte mich auch des gebräuchlichsten Ausdruckes bedienen, die Kräfte halten sich das Gleichgewicht, allein ich will absichtlich die gewohnten Ausdrücke vermeiden, weil wir mit denselben unwillkürlich eine Menge von Vorstellungen verbinden, die sich dann, ohne daß wir es wollen, unkontrolliert in unsere Schlußweise einschmuggeln und so den Schein erwecken, als hätten wir etwas bewiesen, was wir nur gemäß unserer alten Denkgewohnheit und Ideenassoziation ohne Begründung beigefügt haben. Ich will außerdem das Wort Kraft vermeiden, ehe ich gleichzeitig auch von der Masse sprechen kann. Endlich betrachten wir hier nur die relative Bewegung. Es kann aber ein Körper relativ gegen seine Umgebung ruhen, ohne daß sich die auf ihn wirkenden Kräfte das Gleichgewicht zu halten brauchen, wie ein Körper, der relativ gegen einen mit Beschleunigung sich bewegenden Lift ruht.

Wir betrachten nun einen bestimmten Fall, wo die Ursachen der relativen Bewegung kompensiert sind. Ein schwerer Körper sei an einen dünnen Faden aufgehängt. Wir könnten da meinen, daß gar keine Bewegungsursachen vorhanden sind. Doch finden wir, daß sofort Bewegung eintritt, wenn wir den Faden entfernen. Es müssen also mindestens zwei Bewegungsursachen vorhanden gewesen sein, welche sich gegenseitig kompensierten.

Wenn wir die nach Entfernung des Fadens eintretende Bewegung analysieren, so finden wir, daß sie, wenn gewisse allgemeine Bedingungen erfüllt sind, sehr angenähert immer in derselben Weise vor sich geht. Diese allgemeinen Bedingungen sind folgende. Die Oberfläche des Körpers darf nicht zu groß gegen dessen Gewicht sein, es darf keine heftige Luftbewegung um den Körper herum stattfinden, der Faden muß ohne Erschütterung durchgeschnitten oder ruhig durch Verbrennung oder sonstwie vernichtet worden sein. Dieselbe Bewegung tritt auch ein, wenn wir den Körper anfangs mit der Hand oder einer Zange oder einer sonstigen Vorrichtung halten und plötzlich ohne Erschütterung sich selbst überlassen. Das Charakteristische aller dieser Anfangsbedingungen besteht darin, daß sämtliche Punkte des Körpers in den

ersten Momenten der Bewegung sehr kleine Geschwindigkeiten haben. Wir können daher annähernd voraussetzen, daß sämtliche Punkte des Körpers im ersten Momente der Bewegung keinerlei Anfangsgeschwindigkeit hatten. Wenn diese Bedingungen erfüllt sind, so lehrt die Erfahrung, daß der Körper stets fast genau nach denselben Gesetzen sich bewegt, wo immer er in der Nähe der Erdoberfläche sich selbst überlassen worden sei. Die Bewegung bestimmen war dabei natürlich einstweilen realtiv gegen die Erde. Wenn wir uns noch auf einen nicht zu großen Teil der Erdoberfläche beschränken, so ist auch die Richtung der Bewegung überall dieselbe; es ist die des Fadens, der früher den Körper trug. Die Erfahrung lehrt nun für diese Bewegung die folgenden Gesetze. Erstens, der Körper bewegt sich parallel zu sich selbst, d. h. alle Punkte desselben legen in gleichen Zeiten, gleiche und gleichgerichtete Wege zurück. Da also die Bahn für jeden Punkt dieselbe ist, so kann man sie als die Bahn des ganzen Körpers bezeichnen. Zweitens, alle diese Wege sind geradlinig. Drittens, die Geschwindigkeit wächst fortwährend, die Beschleunigung ist jedoch überall, zu allen Zeiten und sogar für alle Körper dieselbe. Daß diese Gesetze in der Natur nur mit größerer oder geringerer Annäherung realisiert sind, wurde bereits besprochen.

Wir können nun dasselbe Experiment wiederholen, nur daß wir dem Körper im Momente, wo wir ihn sich selbst überlassen, einen Stoß geben, oder sonstwie bewirken, daß er schon anfangs eine Geschwindigkeit hat. Da wir die Sätze vom Schwerpunkt und der Drehung der Körper noch nicht kennen gelernt haben, so müssen wir uns dabei auf die Fälle beschränken, wo sich der Körper wieder parallel zu sich selbst bewegt. Es wird dies zwar nicht immer eintreten, und wir können die Bedingungen dafür, daß es eintritt, noch nicht angeben, aber in vielen Fällen wird dies stattfinden und diese Fälle wollen wir vorläufig allein betrachten. In allen diesen Fällen legen wieder alle Punkte des Körpers gleiche Bahnen zurück, welche wir also als die Bahn des Körpers bezeicnen können. Die ganze Bewegung kann wieder dahin beschrieben werden, daß die Beschleunigung immer vertikal nach abwärts gerichtet, und überall zu allen Zeiten und für alle Körper dieselbe ist. Da wir nun gesehen haben, daß die

Bewegung, wenn wir sie an verschiedenen Stellen im Zimmer oder in dessen Umgebung beginnen lassen, immer in ganz gleicher Weise vor sich geht, so müssen wir schließen, daß die Bewegungsursache, welche wir Kraft nennen, daselbst überall unveränderlich dieselbe ist. Anderseits ist auch die Beschleunigung unveränderlich dieselbe, wir können daher schließen, daß wenigstens in diesem speziellen Falle die Beschleunigung das für die Kraft Maßgebende ist, und weil erstere überall vertikal nach abwärts gerichtet ist, so sagen wir, auf den Körper wirkt eine konstante vertikal nach abwärts gerichtete Kraft, die Schwere.

Dritte Vorlesung.

Um tiefer in die Gesetze der Bewegungen einzudringen, müßten wir jetzt die nächst einfachsten Fälle betrachten. Ein naives Gemüt könnte da wohl meinen, daß wir nun die Gesetze, nach denen ein Grashalm wächst, untersuchen sollten. Leider aber wissen wir über diese noch heute fast gar nichts. Besser wäre es schon, die Gesetze der Wirkung gespannter Schnüre, Federn usw. zu betrachten. Allein auch da treten die Bewegungsgesetze nicht in größter Einfachheit hervor. Der historische Gang war vielmehr der folgende. Nachdem Galilei die Bewegungsgesetze, soweit wir sie bisher betrachtet haben, gefunden hatte, suchte Newton sie vor allem auf die Bewegung der Gestirne anzuwenden und auch von ihm gilt, was Schiller von Wallenstein sagte: „Fürwahr, ihn hat kein Wahn betrogen, als er aufwärts zu den Sternen sah.“ Dem Laufe der Sterne hat er die Bewegungsgesetze abgelauscht, auf denen alle heute in der Technik und Maschinenlehre benutzten Formeln, ja überhaupt unsere ganze moderne Naturkenntnis basiert. Freilich bringt der Übergang zur Sternenwelt manche Unbequemlichkeit mit sich. Erstens müssen wir, um einfache Gesetze zu erhalten, unser altes Bewegungssystem, als welches der Erdkörper diente, verlassen und ein relativ gegen den Fixsternenhimmel sich nicht drehendes Koordinatensystem wählen. Zweitens ist auch die Bedingung, das die Planeten sich parallel zu sich selbst bewegen, nicht erfüllt. An ihre Stelle tritt der Umstand, daß ihre

Entfernungen vom Beobachter so groß sind, daß ihre einzelnen Teile überhaupt nur schwer unterschieden werden können, so daß wir also in der ersten Annäherung, mit welcher wir uns wieder begnügen, überhaupt die Bahnen der verschiedenen Punkte eines und desselben Planeten gar nicht unterscheiden können. Wir können also wohl auch annehmen, daß die Gesetze dieselben wären, wenn die Himmelskörper sich parallel zu sich selbst bewegten. Wir kommen also hier einesteils dem Begriffe des materiellen Punktes sehr nahe, da die Ausdehnung der bewegten Körper so klein gegen die Länge ihrer Bahn ist, daß letztere für alle Punkte des Körpers merklich gleich wird. Anderseits aber sind wir von dieser Idee so weit entfernt als möglich, da wir es mit Körpern zu tun haben, die nichts weniger als materielle Punkte, vielmehr oft größer als unser ganzer Erdkörper sind.

Die Beobachtung und Messung lehrt, daß sich im Weltraume häufig um einen Zentralkörper ein System von Himmelskörpern bewegt, welche wir die Trabanten nennen. Wir erhalten die einfachsten Gesetze, wenn wir die Bewegung der Trabanten auf ein Koordinatensystem beziehen, dessen Anfangspunkt im Mittelpunkte des betreffenden Zentralkörpers liegt und dessen Achsen dreien fest mit dem Fixsternhimmel verbundenen Geraden stets parallel bleiben. Für die Bewegung der Trabanten gelten erfahrungsgemäß die drei Kepplerschen Gesetze. Da beim freien Falle die Beschleunigung eine so wichtige Rolle spielte, so wollen wir auch in diesem Falle die Beschleunigung berechnen, welche irgend ein Trabant in seiner Bewegung erfährt. Diese Rechnung ist sehr bekannt und ganz leicht. Es hat sie Kirchhoff in seinen Vorlesungen über Mechanik in sehr eleganter Form durchgeführt. Man findet aus dem ersten und zweiten Kepplerschen Gesetze, daß sie für jeden Trabanten zu jeder Zeit gegen den Zentralkörper gerichtet und dem Quadrate des Abstandes r von demselben verkehrt proportional, also in der Form $\frac{k}{r^2}$ darstellbar ist. Aus dem dritten Kepplerschen Gesetze ergibt sich außerdem, daß die Konstante k von Zentralkörper zu Zentralkörper verschieden ist, aber für alle Trabanten eines und desselben Zentralkörpers denselben Wert hat. Da wir schon bei der Schwere die Beschleunigung als

das maßgebende für die Bewegungsursache oder Kraft erkannt haben, so wollen wir auch hier sagen, der Zentralkörper übt auf jeden Trabanten eine Kraft aus, welche die Richtung der vom Mittelpunkte des Trabanten gegen den des Zentralkörpers gezogenen Geraden hat und der Länge dieser Geraden verkehrt proportional ist. Diese ist einstweilen sonst nichts als ein anderer Ausdruck für die Tatsache des Vorhandenseins dieser Beschleunigung. Newton hat diesen Satz sofort enorm verallgemeinert, indem er annahm, daß überhaupt jeder Himmelskörper auf jeden andern, ja jedes materielle Teilchen auf jedes andere eine solche Kraft ausübt. Wenn daher ein Himmelskörper mehreren andern so nahe ist, daß er von ihnen eine merkliche Einwirkung erfährt, so haben wir den Fall, daß er gleichzeitig aus verschiedenen Ursachen verschiedene Beschleunigungen nach verschiedenen Richtungen erfährt. Da wir die Beschleunigung durch einen Vektor dargestellt haben, so ist es nicht die einzig notwendige, aber doch bei weitem die naheliegendste, einfachste Annahme, daß sich diese Beschleunigung wie Vektoren addieren. In der Tat zeigt sich, daß man unter dieser Annahme immer Übereinstimmung mit der Erfahrung erhält. Es ergeben sich die Störungen der Planeten untereinander, der Monde durch die Sonne und durch die Planeten in genauer Übereinstimmung mit der Erfahrung. Man kann jetzt auch den Horizont erweitern und alle Himmelskörper auf ein und dasselbe mit dem Fixsternhimmel fest verbundene Koordinatensystem beziehen und erhält auch die Bewegung der Zentralkörper gegen dieses Koordinatensystem in Übereinstimmung mit der Erfahrung. Die Schwere erweist sich als identisch mit der Anziehung des Erdkörpers auf den schweren Körper. Schließlich zeigen die Erscheinungen der Ebbe und Flut, die Versuche von Cavendish, Maskelyne, Airy usw. die Richtigkeit der Ausdehnung des Newtonschen Gesetzes auf die irdischen Körper. Da die wirkliche Beschleunigung immer die Vektorsumme der verschiedenen von den wirkenden Körpern erzeugten Beschleunigungen ist, so folgt jetzt als spezieller Fall des Newtonschen Gesetzes, daß ein Körper, welcher von allen übrigen so weit entfernt wäre, daß keiner derselben eine Wirkung auf ihn ausüben würde, zu allen Zeiten die Beschleunigung Null erführe. Wir erhalten also erst jetzt

das Trägheitsgesetz. Selbstverständlich ist hiermit über die Ursache der Newtonschen Kraft, ob dieselbe eine direkte Fernwirkung ist, oder durch ein Medium vermittelt wird, nicht das mindeste präjudiziert. Wir könnten auch jetzt schon den Begriff der Masse ableiten. Die Massen zweier Zentralkörper würden sich ja wie die ihnen entsprechenden Werte der Konstanten k des Gravitationsgesetzes verhalten und durch den Cavendishschen Versuch könnte diese Definition auch auf irdische Körper ausgedehnt werden. Allein wir würden da die Proportionalität der Konstante k mit der als Trägheitswiderstand definierten Masse vorwegnehmen, was offenbar ein logischer Fehler wäre. Wir müssen daher zum Begriffe der Masse auf ganz anderem Wege zu gelangen suchen. Wir haben bisher als das Maßgebende für die Kraft die Beschleunigung betrachtet. Es könnte nun als das einfachste erscheinen, die Größe der Beschleunigung, welche ein Körper durch einen andern erfährt, einfach als die Größe der Kraft zu bezeichnen, welche der letztere auf den ersteren ausübt. Es geschieht dies auch manchesmal, und man bezeichnet die so definierte Kraft als die beschleunigende Kraft. Allein im allgemeinen ist es besser, einen andern Begriff einzuführen. Wir denken nämlich beim Worte Kraft in erster Linie an die Muskelanstrengungen, welche wir ausüben können. Nun liegt freilich kein Grund vor, ja, es wäre ganz verkehrt, anzunehmen, daß jedesmal, wenn unbelebte Körper Kräfte aufeinander ausüben, etwas vorhanden sein müsse, was diesen Muskelanstrengungen irgendwie entspricht. Allein es wird sich doch empfehlen, wenn wir die Bezeichnungen so wählen, daß sie sich den durch diese Muskelanstrengungen erworbenen Begriffen möglichst gut anschließen. Wir sahen, daß alle Körper durch die Schwere die gleiche Beschleunigung erfahren. Würden wir nun diese ohne weiteren Faktor als Maß der Kraft wählen, so wäre die Kraft, welche die Schwere auf sie ausübt (das Gewicht), für alle Körper dasselbe. Nun lehrt aber die tägliche Erfahrung, daß die Muskelanstrengung, welche wir brauchen, um den Fall aufzuheben, für verschiedene Körper sehr verschieden ist. Wollen wir daher mit unseren Vorstellungen im Einklang bleiben, so müssen wir sagen, daß auch die Schwere auf die verschiedenen Körper sehr verschiedene Kräfte ausübt, daß aber die Körper von

größerem Gewichte dieser beschleunigenden Wirkung der Schwere einen größeren Widerstand, den Trägheitswiderstand, die Masse, entgegensetzen, so daß erst infolge beider Umstände zusammen alle Körper die gleiche Beschleunigung erfahren. Um die Masse in dieser Weise als Trägheitswiderstand zu definieren, müssen wir an verschiedene Körper die gleiche Kraft anbringen. Das Verhältnis ihrer Massen können wir dann als das verkehrte Verhältnis der Beschleunigungen definieren, die sie durch gleiche Kräfte erhalten. Aber darin liegt eben die größte Schwierigkeit, wie man die Gleichheit der Kräfte, wenn diese auf verschiedene Körper wirken, ohne logischen Fehler feststellen soll. Man könnte zwei Körper dem Zuge gleich beschaffener, gleich gespannter Schnüre oder elastischer Federn unterwerfen. Allein da müßte man erst durch komplizierte, der Erfahrung entnommene Argumente als wahrscheinlich hinzustellen suchen, daß gleich beschaffene Schnüre auf zwei ganz verschiedene Körper dieselben Kräfte ausüben, was gewiß nicht a priori evident ist. Wir könnten auch nach Mach einfach den Satz der Gleichheit der Wirkung und Gegenwirkung postulieren. Wenn dann bloß zwei Körper in Wechselwirkung begriffen sind, so wäre die Gleichheit der Kräfte, welche auf beide Körper wirken, evident. Wenn sie sich zudem nur Parallelverschiebungen erteilen, so wäre das Verhältnis ihrer Massen einfach zu definieren, als das verkehrte Verhältnis der Beschleunigungen, welche an ihnen zu beobachten sind. Allein bei der Wirkung dazwischen gebrachter Schnüre, Fäden usw. haben wir eigentlich schon immer mehr als zwei in Wechselwirkung begriffene Körper und es würde auch die Deformation dieser Zwischenkörper in Betracht zu ziehen sein. Der von Mach angenommene Fall könnte also in reiner Weise eigentlich nur bei direkter Fernwirkung vorkommen und es wäre sehr mißlich, wenn man vom rein empirischen Standpunkte aus die direkte Fernwirkung a priori annehmen müßte. Streintz sucht eine einwurfsfreie Definition in folgender Weise zu gewinnen. Er denkt sich irgendein System beliebiger Körper. In demselben kommen zwei Körper K_1 und K_2 vor. Diese ruhen im ersten Augenblicke und beginnen sich dann mit Beschleunigung, aber jeder parallel zu sich selbst zu bewegen. Es soll nun die Bewegung beider Körper dadurch

aufgehoben werden können, daß man sie starr miteinander verbindet. Dies verwendet er als Kriterium, daß früher auf jeden genau die gleiche Kraft wirkte, weil sich beide Kräfte durch bloße starre Verbindung jetzt aufheben. Er nennt diese Begriffsbestimmung der Gleichheit der Kraft die statische. Sie hat das für sich, daß sie das Prinzip der Gleichheit der Wirkung und Gegenwirkung involviert, wie man sofort sieht, wenn man den speziellen Fall betrachtet, daß das ganze System bloß aus den zwei aufeinander wirkenden Körpern K_1 und K_2 besteht. Sie hat aber doch auch manches Willkürliche. Daß durch die starre Verbindung die Wirkung der übrigen Kräfte nicht gestört wird, kann wieder höchstens erfahrungsmäßig wahrscheinlich gemacht werden. Daß die Verbindungskräfte sich zu den übrigen addieren, setzt schon gewisse Sätze der Statik voraus. Noch größer würden die Schwierigkeiten, wenn die Körper K_1 und K_2 anfangs in Bewegung begriffen wären. Wollte man da nicht von vornherein annehmen, daß die Kräfte bloß von der relativen Lage abhängen, durch den aus der plötzlichen starren Verbindung resultierenden Stoß nicht gestört werden und ähnliches, so müßte ihre Beschleunigung durch eine die Bewegung gestattende und auf beide Körper bloß beschleunigend wirkende plötzlich eingeschaltete Feder aufgehoben werden. Hält man einmal an der Streintzschen Vorstellung fest, so hat die Definition des Massenverhältnisses weiter keine Schwierigkeit. Die Massen der beiden Körper K_1 und K_2 verhalten sich dann umgekehrt, wie die Beschleunigungen, die sie im ersten Falle, wo keine starre Verbindung vorhanden war, erhielten, da ja damals auf beide gleiche Kräfte wirkten. Natürlich ist sowohl bei der Machschen als bei der Streintzschen Definition noch immer erforderlich, sich auf besondere Erfahrungsgesetze zu berufen, vermöge welcher das Massenverhältnis zweier Körper immer gleich ausfällt, unter was immer für Umständen man den hierzu dienenden Versuch angestellt haben mag und vermöge welcher das Verhältnis der Massen der Körper K_1 und K_3 stets gleich dem Produkte der beiden Massenverhältnisse der Körper K_1, K_2 und K_2, K_3 ist.

Zu bemerken ist noch, daß wir nur das Verhältnis zweier Massen bisher definiert haben. Um die Masse durch eine

Zahl auszudrücken, müssen wir irgendeine Masse willkürlich als eine neue Einheit wählen. Von allen Größen, welche daher durch Zahlen ausgedrückt werden, deren Größe von der Wahl der Masseneinheit abhängig ist, werden wir sagen, daß sie gewisse Dimensionen bezüglich der Masse haben. Haben wir den Begriff der Masse in der einen oder andern Weise festgestellt, so hat die Definition der Kraft im gewöhnlichen Sinne oder, wie man auch sagt, der bewegenden Kraft, keine Schwierigkeit mehr. Dieselbe ist das Produkt der Masse in die Beschleunigungen und hat daher bezüglich der Masse die Dimension eins. Da sich die Beschleunigungen wie Vektoren addieren, so gilt dies auch von den Kräften, wenigstens insoweit wir diese bisher betrachtet haben. Dieser Satz vom Kräftenparallelogramm, sowie die übrigen bisher entwickelten Sätze können nun auch auf die Statik und Dynamik der durch gespannte Fäden oder durch Federn erzeugten Druck und Zugkräfte übertragen werden. Natürlich zunächst bloß in dem idealen Falle, daß die Bewegung der einzelnen Teile der Fäden und Federn nicht betrachtet wird, und daß die bewegten Körper sich stets parallel zu sich selbst bewegen. Es könnte so z. B. die Mechanik der Atwoodschen Fallmaschine mit Hilfe des bisher Entwickelten ohne weiteres diskutiert werden.

Aus dem Umstande, daß sich das Newtonsche Gravitationsgesetz in symmetrischer Weise bezüglich beider wirkender Körper aussprechen muß, und daß die Anziehungskonstante K für alle Trabanten desselben Zentralkörpers gleich ist, leitet man leicht ab, daß diese gleich dem Produkte der Massen der beiden wirkenden Körper in eine für das ganze Universum konstante Größe sein muß, während die Tatsache, daß alle Körper durch die Schwere die gleiche Beschleunigung erhalten, schon lehrt, daß das Gewicht der Masse proportional sein muß.

Wir sind aber noch sehr weit davon entfernt, aus den bisher entwickelten Grundlagen sämtliche Sätze der Mechanik ableiten zu können. Wir haben ja bisher bloß die Bewegung eines festen Körpers parallel zu sich selbst betrachtet und haben den wichtigen Begriff des Angriffspunktes einer Kraft noch gar nicht gewonnen. Um diesen zu erhalten, um die Drehung der starren Körper, die Deformationen der elastischen und die Bewegungen der flüssigen behandeln zu kön-

nen, müssen wir von neuen Tatsachen ausgehen. Wenn ein Faden an einem Körper befestigt ist, oder eine Feder auf eine einzige Stelle desselben drückend wirkt, so gibt es stets eine ganz kleine Partie des Körpers, welche zunächst von der Kraft affiziert wird. Lösen wir diese los und stellen einen kleinen Zwischenraum zwischen ihr und den übrigen Teilen des Körpers her, so wird derselbe erst wieder affiziert, wenn dieser Zwischenraum durch die Bewegung des kleinen abgetrennten Teiles sich ausgefüllt hat. Wir nennen daher diesen Teil die Angriffsstelle und können sie wieder zu einem Angriffspunkte idealisieren. Wir müssen nun noch die bekannten Sätze über die Versetzbarkeit von Kräften an starren Körpern als idealisierte Erfahrungstatsachen beifügen. Mittelst derselben können wir dann in ebenfalls hinlänglich bekannter Weise die Sätze über das Gleichgewicht von beliebigen Kräften, welche auf einen starren Körper wirken, die Sätze von den statischen Momenten ableiten. Wir schlagen hier insofern einen analogen Weg ein, wie Streintz bei der Definition der Masse, als wir von der Statik ausgehen und erst von dieser zur Dynamik gelangen. Die Sätze von den statischen Momenten haben wir da freilich zunächst bloß für eine begrenzte Zahl von Kräften bewiesen, von denen jede nur auf einen einzelnen Punkt des Körpers wirkt. Wir müssen dazu noch die Annahme hinzufügen, daß man im Falle, wo die Kräfte den Körper oder einen ausgedehnten Teil desselben als Ganzes anfassen, die Sache immer so ansehen kann, als ob sie auf sehr viele, respektive unendlich viele Punkte seiner Oberfläche oder seines Innern geradeso wirken würden, als ob an jedem dieser Punkte eine ein wenig gespannte Schnur oder eine ein wenig drückende Feder befestigt wäre. So muß man z. B. von der Schwere annehmen, daß sie gleichmäßig auf alle Punkte des schweren Körpers wirkt. Einen andern Weg, auf welchem man den Übergang von der Bewegung parallel zu sich selbst zur Drehbewegung suchen könnte, will ich hier nur ganz kurz andeuten. Wir können aus dem Prinzipe der Erhaltung der lebendigen Kraft folgenden Satz ableiten. Wenn auf einen festen Körper eine Kraft wirkt, die ihn nur parallel zu sich selbst zu bewegen sucht, so muß immer eine ihrer Richtung parallele Gerade, welche wir die Angriffslinie nennen wollen, von solcher Beschaffenheit existieren, daß, wenn man

einen beliebigen Punkt des festen Körpers, welcher auf derselben liegt, festhält, der Körper ins Gleichgewicht kommen muß. In gleicher Weise kann man beweisen, daß, wenn zwei feste Körper K_1 und K_2 so in Wechselwirkung begriffen sind, daß jeder dem andern nur eine Bewegung parallel zu sich selbst erteilt, Wirkung und Gegenwirkung gleich sein muß und die Angriffslinien zusammenfallen müssen. Denkt man sich dann einen Punkt A der gemeinsamen Angriffslinien festgehalten, so muß das ganze System ins Gleichgewicht kommen. Jeden solchen Punkt können wir als Angriffspunkt der Kraft betrachten. An diesen Begriff des Angriffspunktes können dann ebenfalls die Sätze von den statischen Momenten geknüpft werden.

Hat man einmal diese Sätze so oder so gewonnen, so muß man zur Zerlegbarkeit der Körper in Volumelemente übergehen. Man führt wieder als Erfahrungssatz an, daß sehr viele Körper, wenigstens mit genügender Annäherung, in zwei Körper von je der halben Masse zerlegt werden, wenn man sie in zwei Teile von gleichem Volumen zerschneidet. Analog wenn man sie in drei gleiche Teile teilt usf. Denkt man sich dies ins Unendliche fortgesetzt, so gelangt man zu einem Satze, den man dahin aussprechen kann, daß diese Körper aus unendlich vielen Volumelementen dv bestehen und die in jedem Volumelemente enthaltene Masse $dm = \varrho dv$ ist. Bei andern inhomogenen Körpern gilt dies wenigstens nahezu für jeden kleinen Volumteil des Körpers, so daß wir dieselbe Formel anwenden können, wenn wir ϱ als von Punkt zu Punkt veränderlich betrachten.

Was nun die Kräfte anbelangt, welche die Volumelemente fester Körper aufeinander ausüben, so muß man annehmen, daß jedes Volumelement nur auf die unmittelbar benachbarten wirkt, und daß es auf alle der Trennungsfläche anliegenden Punkte Kräfte ausübt, welche gerade so wirken, als ob daran ziehende gespannte Fäden oder drückende, aufgestützte Stäbe befestigt wären. Wenn die Trennungsfläche eben und genügend klein ist, so muß man zudem annehmen, daß diese Kräfte gleichmäßig auf alle der Trennungsfläche anliegenden Punkte wirken. Diese Sätze können wohl kaum direkt erfahrungsmäßig bestätigt werden und finden ihre Rechtfertigung nur in der nachherigen Übereinstimmung der

aus ihnen entwickelten Sätze mit der Erfahrung. Wendet man den Satz von den statischen Momenten auf ein Volumelement an, so findet man, daß im Falle des Gleichgewichtes die auf ein zur x-achse senkrechtes Flächenelement in der y-Richtung wirkende Kraft gleich sein muß der auf ein gleiches zur y-Richtung senkrechtes Flächenelement in der x-Richtung wirkenden Kraft, was wir den Satz X nennen wollen. Zu den bisher aufgestellten Annahmen, welche wir uns als durch die Erfahrung genügend motiviert dachten, sind noch die folgenden hinzuzunehmen. Erstens, die elastische Kraft ist bloß von der augenblicklichen Gestaltveränderung des betreffenden Körpers, nicht von den früheren Zuständen desselben, noch auch von der Geschwindigkeit seiner Teilchen abhängig. Zweitens, jedes Volumelement bewegt sich nach den Gesetzen, welche wir bisher bloß für die Bewegung parallel zu sich selbst abgeleitet haben. Unter diesen Annahmen erhält man dann sofort die Gleichungen der gewöhnlichen Elastizitätslehre. Dieselben gelten natürlich wieder nur für einen idealen festen Körper, alle festen Körper zeigen innere Reibung und elastische Nachwirkung, welche wir bisher ausgeschlossen haben. Auch der Satz, welchen wir den Satz X nannten, ist keineswegs a priori evident. Lord Kelvin hat sich einmal den Lichtäther, sonst ganz mit den Eigenschaften begabt gedacht, welche wir an festen Körpern wahrnehmen, nur daß er die Richtigkeit des Satzes X fallen ließ. Wir wollen uns hier nicht in eine Diskussion einlassen, ob durch die Annahme Lord Kelvins das Verhalten des Lichtäthers erklärt werden kann. Es genügt uns, daß derselbe ohne alle inneren Widersprüche Bewegungsgleichungen für die Volumelemente eines festen Körpers ausarbeiten konnte, für welchen der Satz X nicht gilt. Wir wollen jedoch vorläufig bei Körpern stehen bleiben, welche den idealen Gleichungen der Elastizitätslehre genügen. Wenn solche Körper so wenig deformierbar sind, daß man sie als starr betrachten kann, und wenn durch beliebige Systeme derselben beliebige Bedingungsgleichungen realisiert sind, so kann man jetzt leicht nachweisen, daß für dieselben das vereinigte Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten und d'Alemberts gelten muß. Denn wenn man alle Kräfte, auch die elastischen, ins Auge faßt, so verschwindet jedenfalls die Summe

$$\sum\left[\left(m\frac{d^2x}{dt^2}-X\right)\delta x+\left(m\frac{d^2y}{dt^2}-Y\right)\delta y+\left(m\frac{d^2z}{dt^2}-Z\right)\delta z\right],$$

da jedes Glied dieser Summe einzeln verschwindet. Da aber die Wirkung immer gleich der Gegenwirkung ist, so müssen die Glieder dieser Summe, welche sich auf die Wechselwirkung der Volumelemente beziehen, separat verschwinden, wenn diese starren Körpern angehören, also keiner relativen Lagenänderung fähig sind, während bei bloß einseitigen Verbindungen die bekannten Ungleichungen abgeleitet werden können. Dies kann auch auf Verbindungen übertragen werden, die nur teilweise starr sind, z. B. unausdehnsame Flächen, Fäden usw.; denn diese können immer als Grenzfall sehr dünner elastischer Körper betrachtet werden. Man erhält so das vereinigte Prinzip der virtuellen Verschiebungen und d'Alemberts in der gewöhnlichen Form. Erst aus diesem Prinzipe können wir jetzt die Sätze von der Bewegung des Schwerpunktes, vom Trägheitsmomente usw. ableiten. Diese Sätze erscheinen daher in unserem Systeme erst an dieser Stelle. Es kann dies nicht anders sein; denn darin besteht ja das Wesen der induktiven Methode, daß wir nicht den Begriff des materiellen Punktes als eines unausgedehnten mit Masse begabten Körpers postulieren, sondern die Schlüsse, welche man sonst mit Hilfe dieses Begriffes macht, erst ausführen, wenn wir zur Vorstellung des Volumelementes gekommen sind, welche wir eher der Erfahrung entnehmen zu können glauben, als die des materiellen Punktes. Wir können dann diese Sätze erst erhalten, wenn wir die Wechselwirkung der Volumelemente behandelt haben. Wir mußten freilich schon früher an zwei Stellen vom Begriffe des mathematischen Punktes Gebrauch machen, nämlich als wir die Bewegung eines einzigen hervorgehobenen Punktes eines Körpers betrachteten, und als wir Kräfte fingierten, welche an einem einzigen Punkte eines Körpers angreifen. Allein da war die Abstraktion doch viel einfacher und klarer, als wenn wir das Ideal eines unausgedehnten mit Masse begabten Körpers bilden und dessen Drehung einfach vernachlässigen, ohne daß wir die Gesetze der Drehung vorher kennen gelernt haben. Manche Sätze könnten wir allerdings auch auf einem andern als dem eingeschlagenen Wege gewinnen. Ein Analogon des Schwerpunktsatzes könnten wir z. B. ableiten,

indem wir ein System von ausgedehnten Körpern betrachten würden, zwischen denen innere Kräfte tätig sind, und auf welche auch äußere Kräfte wirken, welche ihnen aber alle nur Bewegungen parallel zu sich selbst erteilen. Nimmt man dazu noch die Annahme, daß für die innern Kräfte Wirkung und Gegenwirkung immer gleich ist, so würde ein dem Schwerpunktsatze ähnlicher Satz für ein solches System in Wechselwirkung begriffener ausgedehnter Körper folgen.

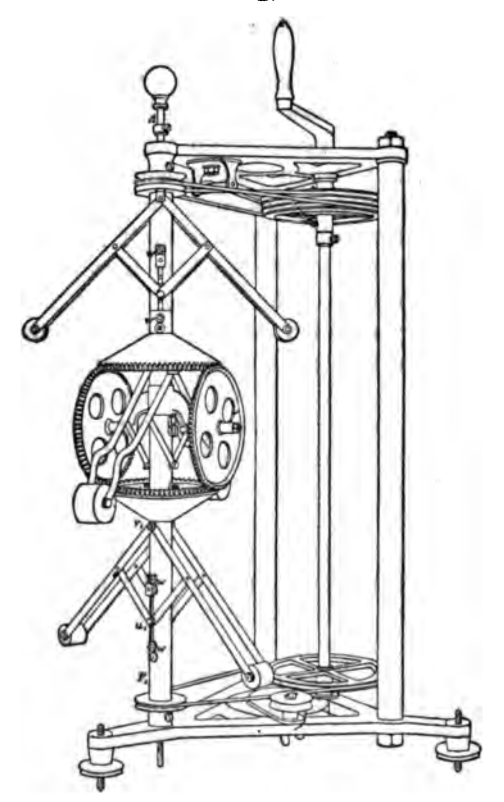
Die Kräfte, welche in Flüssigkeiten wirken, können als ein spezieller Fall der in elastischen Körpern wirkenden betrachtet werden, und sie können daher ebenfalls nach der im bisherigen auseinandergesetzten Methode gewonnen werden. Die Gestaltänderungen der Flüssigkeiten können dann durch die Bewegung der Volumteile derselben dargestellt werden, welche die entwickelten Gesetze befolgt; nur daß die Deformation des Körpers als Ganzes jetzt eine beliebig große sein kann.

Wir haben hiermit das Gebiet der eigentlichen mechanischen Erscheinungen erschöpft. Bei den dissipativen Erscheinungen (elastische Nachwirkung, Reibung usw.) spielt bereits die entwickelte Wärme eine Rolle. Wir können natürlich die Form der frühern Gleichungen wahren, indem wir zu den bisher abgeleiteten Kräften noch Glieder von solcher Beschaffenheit hinzu addieren, daß deren Summe genau gleich dem Werte der mit der Masse multiplizierten Beschleunigung wird. Diese Zusatzglieder können wir dann immer als Reibungskraft, Mittelwiderstandskraft usw. bezeichnen, doch hat diese Darstellung einen rein formellen Wert, wenn die Zusatzglieder in ganz komplizierter Weise von der Bewegungsgeschwindigkeit, den frühern Zuständen usw. abhängen. Es bietet die Molekulartheorie da entschieden mehr Anschaulichkeit, da sie die Zusatzglieder doch durch langsame Drehung der Moleküle in neue Ruhelagen, Umsetzung der sichtbaren Bewegung in Molekularbewegung usw. einigermaßen versinnlichen kann. Das Prinzip der virtuellen Verschiebung behält dann natürlich, so lange es auf das Gleichgewicht ruhender Körper angewendet wird, seinen Sinn, da bei der Ruhe dissipative Vorgänge fehlen. Aber das d'Alembertsche Prinzip ist auch zu einer leeren Formel herabgesunken, so bald sich in den Ausdrücken für die Kräfte

Glieder finden, welche selbst wieder von der Bewegung, von den vorhergegangenen Zuständen der Körper usw. abhängen. Über die Darstellung der elektrischen und magnetischen Erscheinungen will ich hier nur bemerken, daß dieselbe ebenfalls in die Form der mechanischen Gleichungen gebracht werden kann und muß, sobald diese Erscheinungen von Bewegungen ponderabler Körper begleitet sind. Des näheren hierauf einzugehen, ist jedoch nicht meine Absicht.

Ich wollte in dem Bisherigen keineswegs eine konsequente, in sich abgeschlossene Darstellung der Mechanik vom induktiven Standpunkt geben. Ich wollte vielmehr bloß die Wege andeuten, auf denen eine solche vielleicht gewonnen werden könnte und namentlich die Schwierigkeiten aufdecken, mit denen ihre Durchführung verknüpft ist, wenn man sich bestrebt, das innere Bild ebenso klar hervortreten zu lassen und konsequent durchzuführen, wie dieses bei der deduktiven Behandlung möglich ist. Ich komme daher zu dem Resultate, daß unter den bisherigen Darstellungsversuchen der Mechanik die deduktiven, wie die von Hertz und die von mir in meinem zizierten Buche gemachte vorzuziehen seien. Da aber diese deduktive Darstellung, wie schon zu Anfang gezeigt wurde, den Mangel hat, daß sie so lange Zeit hindurch gar nicht an die Erfahrung anknüpft und vielfach den Schein des Willkürlichen erweckt, so würde es mich sehr freuen, wenn es jemandem gelänge, der deduktiven Darstellung eine induktive an die Seite zu stellen, welche gleich einfach und naturgemäß vorginge und doch das innere geistige Bild in gleicher Deutlichkeit und Konsequenz hervortreten ließe. Es wäre dies wohl in einer kurzen Abhandlung kaum möglich, sondern nur in einem größeren Buche, wo man den Grundprinzipien sogleich die Anwendung auf alle speziellen Fälle folgen lassen könnte. Denn erst an der Möglichkeit der exakten Darstellung aller möglichen speziellen Fälle erprobt sich die Klarheit und Konsequenz der Bilder, wie sich das am besten an der Hertzschen Darstellung zeigt, wo diese Anwendung auf spezielle Fälle fehlt. Sollten sich aber die Lücken, die sich in meiner gegenwärtigen Darstellung finden, nicht ausfüllen lassen, so würde mich auch dies freuen, denn es würde den definitiven Sieg der deduktiven über die induktive Behandlungsweise bedeuten. Ich möchte gewisser-

maßen die Vertreter der induktiven Richtung einladen, alle Fehler, die sich in meiner gegenwärtigen Darstellung finden, aufzudecken, die Möglichkeit der genauen Durchführung aller Schlußweisen, die ich hier nur kurz angedeutet habe, zu zeigen und ihre besten Kräfte einzusetzen in dem Wettkampfe mit der deduktiven Darstellung, damit beide mit einander



verglichen werden können, und sich im Wettstreite stets ausbilden und vervollkommnen.

Da der Energiebegriff nicht nur in der Mechanik, sondern in der ganzen Naturwissenschaft eine so wichtige Rolle spielt, so wären auch konsequente Darstellungen der Grundprinzipe der Mechanik vom Standpunkte der Energetik höchst erwünscht, welche also nicht von den Begriffen der Beschleunigung und Kraft, sondern von denen der lebendigen Kraft

und des Potentiales auszugehen hätten. Doch müßten die betreffenden Bilder auch nach der deduktiven oder induktiven Methode durchaus klar konsequent und einwurfsfrei entwickelt werden, und es müßten vollkommen präzise Regeln gegeben werden, wie dieselben eindeutig auf alle speziellen Fälle anzuwenden sind, ohne daß die Kenntnis der alten Mechanik dabei vorausgesetzt wird.

Vierte Vorlesung.

(Die vierte Vorlesung begann der Vortragende mit der Vorzeigung des Modells für die Maxwellsche Theorie der Elektrizität und des Magnetismus, welches in dessen Buch „Vorlesungen über Maxwells Theorie der Elektrizität und des Lichtes, erster Teil“ beschrieben ist. Es wurden alle dort erwähnten Experimente mit gutem Erfolge durchgeführt. Hierauf gab er noch folgende Übersicht über die das Prinzip der kleinsten Wirkung und das Hamiltonsche Prinzip umfassenden Gleichungen.)

Wenn wir die Fälle einseitiger Verbindungen ausschließen, so wird das vereinigte Prinzip der virtuellen Verschiebungen und d'Alemberts, wie wir sahen, durch eine Gleichung ausgedrückt, welche wir erhalten, wenn wir den Ausdruck auf Seite 36 gleich Null setzen. Führt man darin generalisierte Koordinaten ein und setzt Einfachheit halber voraus, daß eine Kraftfunktion V besteht, welche aber die Zeit enthalten kann, so transformiert sich dieselbe in folgende Gleichung

$$\frac{dq}{dt} - \frac{\partial T}{\partial p} + \frac{\partial V}{\partial p} = 0,$$

wobei p irgend eine generalisierte Koordinate, q das dazu gehörige Moment, T die gesamte kinetische Energie ist. Wenn jede beliebige Koordinate p zu jeder beliebigen Zeit t eine beliebige Variation δp erfährt, so kann man die letzte Gleichung mit δp multiplizieren und bezüglich aller p summieren. Im speziellen Falle, daß alle δp integrable Funktionen der Zeit sind, kann man noch mit dt multiplizieren und über eine beliebige Zeit (von t_0 bis t) integrieren; nach partieller Integration der dq/dt enthaltenden Glieder folgt in dieser Weise:

$$\delta\int_{t_0}^{t}(T - V)\,dt = \Sigma(q\delta p - q_0\delta p_0), \tag{1}$$

wobei sich rechts die ersten Größen auf die obere, die letztern auf die untere Integrationsgrenze beziehen.

1. Hamiltons Prinzip der stationären Wirkung.

Aus der Fundamentalgleichung 1) folgt das Prinzip der stationären Wirkung, wenn man die Grenzen des Integrals und die Koordinatenwerte für dieselben als unveränderlich voraussetzt. Dann ergibt sich, wenn man setzt

$$T - V = W, \quad \int_{t_0}^{t} W dt = \Omega, \quad \frac{\Omega}{t - t_0} = \overline{W}$$

folgende Gleichung:

$$\delta \Omega = 0 \quad \text{oder} \quad \delta \overline{W} = 0 .$$

Ω oder $\overline{W}$ haben also für die Bewegung dieselbe Bedeutung wie V für das Gleichgewicht in der Ruhe. Die Bedingungen, welche den Grenzwert von Ω oder $\overline{W}$ unter den geschilderten Umständen angeben, sind mit den Bewegungsgleichungen identisch, weshalb Helmholtz diese Größen als kinetisches Potential bezeichnet. Für das Gleichgewicht in der Ruhe bestimmen diese Bedingungen einen Grenzwert von V, da dann $T = 0$ und V von der Zeit unabhängig ist. Der Satz, daß für das Gleichgewicht V ein Grenzwert ist, ist also ein ganz spezieller Fall des Satzes vom kinetischen Potentiale oder des Hamiltonschen Prinzips der stationären Wirkung, wie dieser auch genannt wird.

2. Hamiltons Prinzip der variierenden Wirkung.

Wir setzen in Gleichung 1) einmal nur die untere, dann nur die obere, dann nur den Wert einer Koordinate für die untere, endlich diesen Wert für die obere Grenze des Integrales als veränderlich voraus; es folgen sofort die Hamiltonschen partiellen Differentialgleichungen:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t_0} = - W, \quad \frac{\partial \Omega}{\partial t} = W, \quad \frac{\partial \Omega}{\partial p_0} = - q_0, \quad \frac{\partial \Omega}{\partial p} = q .$$

Es soll nun V die Zeit nicht enthalten, also die Energie $T + V$ sich mit der Zeit nicht ändern. Wenn man dann in Gleichung 1) die Grenzen als variabel betrachtet, so transformiert

man sie nach einigen Zwischenrechnungen leicht in die folgende:

$$2\delta\int_{t_0}^{t} T dt = \int_{t_0}^{t} \delta(T+V)dt + \Sigma(q\delta p - q_0\delta p_0, \qquad (2)$$

wobei aber die δp jetzt unter gleichzeitiger Variation der Grenzen für die Zeit und der Bewegung zu bilden sind.

3. Das alte Prinzip der kleinsten Wirkung.

Setzt man in Gleichung 2) die Koordinatenvariationen für die Grenzen von t gleich Null und nimmt außerdem an, daß die Variation der Bewegung ohne Energiezufuhr geschieht, also $\delta(T+V) = 0$ ist, so folgt

$$\delta\int_{t_0}^{t} T dt = 0,$$

also die alte Form des Prinzips der kleinsten Wirkung, welches in mancher Beziehung spezieller, insofern aber wieder allgemeiner ist, als das Prinzip der stationären Wirkung, als es die Bewegungszeit als veränderlich betrachtet.

4. Analogien mit dem zweiten Hauptsatze.

Wir wollen annehmen, daß das letzte Glied der Gleichung 2) verschwindet. Es gilt dies nicht bloß, wenn an den Grenzen für die Zeit $\delta p = \delta p_0 = 0$ ist, sondern auch, wenn die Bewegung periodisch ist und $t - t_0$ die Dauer dieser Periode ist. Es gilt auch, wenn die Verschiebungen sämtlicher materiellen Punkte des Systemes infolge der Variation der Bewegung senkrecht auf der augenblicklichen Geschwindigkeitsrichtung derselben steht. Bisher waren die δp ganz willkürliche Variationen. Wir wollen sie nun in folgender Weise erzeugt denken. 1. Mit dem Systeme, auf welches sich die Gleichung 2) bezieht, soll ein zweites System verbunden sein, welches mit dem ersten in Wechselwirkung steht, und letzteres soll eine unendlich kleine Bewegung machen. 2. Außerdem soll dem ersten Systeme eine unendlich kleine lebendige Kraft δQ zugeführt werden. Die in der Gleichung vorkommende Größe δV ist bloß die Veränderung von V infolge der Lagen-

änderung der Punkte des ersten Systems. Sei $\delta' V$ die infolge der Lagenänderung des zweiten Systems, so ist $\delta' V$ die Arbeit der vom ersten auf das zweite System wirkenden Kräfte. Sie muß mit der zugeführten Energie δQ zusammen die gesamte Änderung δE der Energie des ersten Systems geben. Es ist also $\delta E = \delta Q + \delta' V$. Anderseits ist $\delta E = \delta T + \delta V + \delta' V$, da δT die Änderung der kinetischen, $\delta V + \delta' V$ die Gesamtänderung der potentiellen Energie ist. Aus beiden Gleichungen folgt $\delta Q = \delta(T + V)$. Setzen wir

$$\overline{\delta Q} = \frac{\int_{t_0}^{t} \delta Q dt}{t - t_0} \quad \text{und} \quad \overline{T} = \frac{\int_{t_0}^{t} T dt}{t - t_0},$$

so folgt aus Gleichung 2) unter den gemachten Annahmen sofort

$$\frac{\overline{\delta Q}}{\overline{T}} = \delta \left[\log \operatorname{nat} \left(\int_{t_0}^{t} T dt \right)^2 \right]$$

wo die Analogie mit dem zweiten Hauptsatze deutlich zutage tritt. Thermodynamisches Beispiel: Unter dem ersten System verstehen wir die Moleküle eines Gases, unter dem zweiten einen das Gas begrenzenden beweglichen Stempel, δQ ist die dem Gase zugeführte Wärme. Mechanisches Beispiel: Das erste System ist ein mit einer punktförmigen Masse verbundener Magnetpol, der gezwungen ist, sich in einer Ebene zu bewegen, das zweite System ein kurzer Magnet, um welchen der Magnetpol eine Zentralbewegung macht. Nun erfährt der Magnet eine kleine Drehung, wodurch sich das Wirkungsgesetz der Zentralbewegung ändert, und außerdem der Magnetpol einen kleinen Stoß. Das Gesagte soll gewissermaßen ein Schema sein, in welchem die verschiedenen, dem Prinzipe der kleinsten Wirkung verwandten Prinzipe, zusammengestellt sind. Es zeigt sich, daß die Analogien mit dem zweiten Hauptsatze weder einfach mit dem Prinzipe der kleinsten Wirkung, noch auch mit dem Hamiltonschen identisch sind, aber sowohl zum einen, wie auch zum andern in sehr naher Beziehung stehen.

Ich habe zu Anfang betont, daß die Entwicklung der Wissenschaft nicht immer in stetiger Verfolgung der alten

Wege vor sich geht, sondern sehr häufig durch plötzliche Einführung ganz neuer Methoden und Ideen gefördert wird. Wo könnte für letztere Art der Entwicklung ein fruchtbarerer Boden sein, als in Amerika, wo alles neu ist, wo die Geschicklichkeit des Geistes, Ungewöhnliches zu unternehmen, die größten unvorhergesehenen Schwierigkeiten zu besiegen, stete Übung findet, während wir in Europa wohlgedrillt in den Bahnen der alten wissenschaftlichen Methode uns zwar mit größerer Leichtigkeit und Sicherheit bewegen, als die Bewohner der neuen Welt, aber dem Ungewohnten und Neuen gegenüber verblüfft und unbehülflich sind. Sicher werden daher nicht bloß die Amerikaner aus ihren rastlosen Bestrebungen die Pflege der reinen Wissenschaft zu fördern, den größten Nutzen ziehen, sondern auch die Wissenschaft wird durch die Mitwirkung der Amerikaner stets mehr und großartiger gefördert werden. Auch ich fühle den hohen bildenden Wert, den es für mich hatte, meinen engbegrenzten heimatlichen Horizont durch die Bekanntschaft mit der großartigen Natur und Kultur Amerikas zu erweitern, wohl das fruchtbringendste Experiment, das ich je angestellt habe. Ich sage Ihnen daher meinen besten Dank für die hohe Ehre, welche sie mir durch die Berufung zu diesen Vorträgen erwiesen, und wünsche nur, daß das von mir gebotene nicht ganz hinter der Größe dieser Auszeichnung zurückstehen möge.

17.

Über die Prinzipien der Mechanik.

Vorwort.

Wiederholt an mich ergangenen Aufforderungen gemäß, übergebe ich hier den Inhalt der beiden Vorlesungen dem Drucke, welche ich beim Antritte meiner Lehrtätigkeit an der Universität Leipzig und beim Wiederantritt meiner alten Professur in Wien, gehalten habe, obwohl ich überzeugt bin, daß diejenigen, welche diese Vorlesungen nicht schon gehört haben, gewaltig enttäuscht sein werden.

Sie werden eine neue Auflage der philosophisch-kritischen Betrachtungen erwarten, die ich einst in einem Vortrage gelegentlich der Naturforscherversammlung in München vorbrachte. Sie bedenken nicht, daß dort mein Auditorium ein ganz anderes war. Dort bestand es der Mehrzahl nach aus Männern, welche, wenn auch nicht alle in sämtliche Details der theoretischen Physik eingeweiht, doch mit Wissenschaft übersättigt waren, so daß sie immerhin nach den Schweizerpillen der kritischen Philosophie Verlangen haben konnten.

Aber was sollten diese einem Auditorium, wie ich es für die beiden hier wiedergegebenen Vorträge erwartete, einem Auditorium von Jünglingen, die voll Hunger nach Wissenschaft die Lehren derselben erst in sich aufnehmen, nicht wieder von sich geben wollten, die mehr nach einem Appetit reizenden Vorgericht, als nach einem die Verdauung fördernden Nachgericht verlangten.

Das war wenigstens meine Ansicht, mag dieselbe richtig oder falsch gewesen sein. Jedenfalls beurteile man die folgenden beiden Vorträge mit Nachsicht und erwarte darin keinen Tiefsinn, sondern nur harmlose Plauderei.

I. Antritts-Vorlesung.

Gehalten in Leipzig im November 1900.

Hochansehnliche Versammlung!

Wenn wir neue Gäste in das von uns lange bewohnte Heim einzuführen gedenken, so pflegen wir die Eingangstür festlich zu schmücken. Ich bin an diese altehrwürdige Universität berufen worden, um Sie einzuführen in den weitläufigen und imposanten Bau der theoretischen Physik. Die Eingangspforte, durch welche wir diesen Bau betreten wollen, ist die analytische Mechanik. Kein Wunder daher, daß ich Ihnen dieselbe in ihrem schönsten Schmucke zeigen möchte, mit dem sie zwar nicht von mir, aber im Verlaufe der Jahrhunderte von den erlesensten Geistern geziert worden ist.

Als echter Theoretiker will ich vor allem äußeren Beiwerke den inneren Kern ins Auge fassen. Die Definition der analytischen Mechanik ist eine sehr einfache. Sie ist die Lehre von den Gesetzen, nach denen die Bewegung der Körper erfolgt. Die Kenntnis dieser Gesetze ist für die Behandlung zahlreicher Maschinen und ähnlicher Vorrichtungen erforderlich, deren einfachste Formen schon im grauen Altertume, so bei den Ägyptern und Babyloniern, bekannt waren. Wir dürfen uns daher nicht wundern, daß die ersten Anfänge der Erforschung mechanischer Gesetze sehr weit zurückreichen. Obwohl es sich hierbei fast immer darum handelte, Körper in Bewegung zu setzen, so beschränkte man sich, abgesehen von wenigen verunglückten Versuchen, bis auf Galilei ausschließlich auf die Bedingungen des Gleichgewichtes, welche in den damals untersuchten Fällen zusammenfielen mit den Bedingungen, unter denen Körper sich gar nicht bewegen. Es ist merkwürdig, daß man mit der Betrachtung dieses Falles, der nach unserer Definition der Mechanik sich allerdings unter dieselbe subsumiert, aber doch nur als ein ganz spezieller Fall, gewissermaßen ein Ausnahmefall, zur Beurteilung der damals gebrauchten Maschinen ausreichte; aber da man von dem eigentlich zu Beschreibenden, der wirklichen Bewegung, gerade absah, so war man zu einer Mechanik im eigentlichen Sinne noch nicht gelangt. Diese beginnt erst mit Galilei, welcher durch ebenso sinnreiche, wie fundamentale Versuche

die Grundgesetze für die einfachsten Fälle der Bewegung ein für allemal feststellte.

Man hätte nun erwarten können, daß diese Gesetze zunächst auf kompliziertere irdische Erscheinungen, z. B. das Wachstum eines Grashalmes, angewendet und dadurch erweitert werden würden; allein dies war keineswegs der Fall. Diese und ähnliche, für den naiven Beobachter unscheinbare, irdische Vorgänge sind uns noch heute vollkommen rätselhaft. Der Fortschritt wurde vielmehr dadurch inauguriert, daß Newton die von Galilei gefundenen Grundgesetze sofort auf die Bewegung des uns Entlegensten, nämlich der Himmelskörper anwandte; denn gerade auf diesem Wege fand Newton jene Erweiterungen und Vervollständigungen der Galileischen Gesetze, welche dann wieder Anwendung auf kompliziertere irdische Bewegungen gestatteten, so daß es ihm gelang, eine Theorie der Bewegung der Körper von solcher Vollendung auszuarbeiten, daß dieselbe bis heute das Fundament nicht nur der Mechanik, sondern der ganzen theorethischen Physik geworden ist.

Auf dieser von Newton geschaffenen Grundlage wurde weiter gebaut von den hervorragendsten Analysten aller Nationen, so Lagrange, Laplace, Euler, Hamilton, und es erwuchs aus der analytischen Mechanik eine Schöpfung, welche wohl mit Recht als Muster für jede mathematisch-physikalische Theorie bewundert wird.

Es gelang zunächst, die Gesetze der Bewegung der starren Körper in Gleichungen zu fassen, so daß jedes derartige Problem auf eine reine Rechenaufgabe zurückgeführt werden

das zeigt ein Blick auf einen schäumenden Bach oder auf die von einem großen Dampfer erzeugten Wasserwogen. Wie ohnmächtig ist die Analyse, die Details aller dieser Erscheinungen aus den hydrodynamischen Gleichungen heraus zu lesen. Aber doch liefert die Mechanik auf allen diesen Gebieten Formeln, welche auch für die Praxis von unschätzbarem Werte sind, ebenso für die Konstruktion von Bauwerken, eisernen Brücken und Türmen, wie für die Anlage von Kanälen, Wasserwerken usw., gar nicht zu reden von den zahllosen Maschinen, die von Tag zu Tag in staunenswerter Weise das Werk der Menschenhand nicht nur ersetzen, sondern übertreffen.

Die Übung, mechanistisch zu denken, ist in allen Fällen des praktischen Lebens vom höchsten Nutzen und wirkt gestaltend und ausbildend auf das gesamte Geistesleben. Wie ein guter Pädagoge in richtiger psychologischer Kenntnis jeden seiner Mitmenschen gerade so behandelt, wie es dessen Individualität erheischt, so kommt der mechanistisch Denkende jedem Mechanismus vom einfachsten bis zum kompliziertesten mit Achtung und Liebe entgegen, und letzterer lohnt es, indem er die Wünsche seines Herrn erfüllt, während sich der mechanisch Ungebildete nicht einmal merkt, in welchem Sinne eine Schraube zu drehen ist, und unauflöslich fest verbindet, was er gerade trennen will.

Wenn eine Nation große Erfolge erzielt hat im Vergleiche mit den in der Nachbarschaft wohnenden, so pflegt sie eine gewisse Hegemonie über die letzteren zu erlangen, ja sie geht nicht selten daran, sie zu unterjochen und sich dienstbar zu machen. Gerade so ergeht es auch mit den wissenschaftlichen Disziplinen. Die Mechanik erlangte bald die Hegemonie in der gesamten Physik. Zunächst unterwarf sich ihr naturgemäß und widerstandslos die Akustik. Die betreffenden Erscheinungen sind aufs innigste mit Bewegungserscheinungen verknüpft, welche freilich so rasch vor sich gehen, daß sie nicht direkt mit dem Auge verfolgt werden können, aber doch ihren rein kinetischen Charakter selbst der bloß oberflächlichen Beobachtung nicht verleugnen. Ja durch künstliche Mittel kann sowohl die Bewegung der Schallerreger, als auch der in der Luft fortgepflanzten Schallwelle direkt sichtbar und erkennbar gemacht werden. Die Akustik

wurde also sofort von der Mechanik als ihre Domäne in Anspruch genommen. Dasselbe geschah auch mit der Optik, als man erkannt hatte, daß das Licht ebenso wie der Schall eine Wellen- und Schwingungserscheinung ist. Freilich war da die Konstruktion eines schwingenden Mediums vollkommen der Phantasie überlassen und stieß auch auf nicht geringe Schwierigkeiten.

Den Feldzug in das Gebiet der Wärmetheorie eröffnete die Mechanik durch die Vorstellung, daß die Wärme eine Bewegung der kleinsten Teilchen der Körper sei, welche eben wegen der Unwahrnehmbarkeit dieser kleinsten Teilchen dem Auge unsichtbar bleibt, aber sich dadurch zu erkennen gibt, daß sie, wenn sie sich den Molekülen unseres Körpers mitteilt, daselbst das Gefühl der Wärme, wenn sie unserem Körper entzogen wird, das Gefühl der Kälte erzeugt. Dieser Feldzug war ein siegreicher, da die geschilderte Hypothese ein sehr klares Bild vom Verhalten desjenigen Agens liefert, welches man Wärme nennt, ein weit vollständigeres, als die frühere Ansicht, daß dieses Agens sich analog wie ein Stoff verhalte.

Elektrizität und Magnetismus wurden den mechanischen Gesetzen untergeordnet durch die Hypothese der elektrischen und magnetischen Fluida, deren Teilchen nach einem Gesetze aufeinander wirken sollten, welches nur eine Modifikation des von Newton für die Wechselwirkung der Weltkörper aufgestellten ist, also durchaus im Boden der reinen Mechanik wurzelt. Auf eine Mechanik der Anziehungs- und Abstoßungskräfte, sowie der gegenseitigen Bewegung heterogener Atome suchte man endlich mit vielem Erfolge auch die chemischen Erscheinungen, sowie die der Kristallbildung zurückzuführen, welche erstere ja soviel Verwandtschaft mit den Wärmeerscheinungen einer- und den elektrischen Erscheinungen andererseits haben. Von der Gegenbewegung, welche in neuerer Zeit gegen dieses Bestreben der Theorie unternommen wurde, soll später die Rede sein.

Selbst die oberflächlichste Beobachtung zeigt, daß die mechanischen Gesetze nicht auf die unbelebte Natur beschränkt sind. Das Auge ist bis ins kleinste Detail eine optische Dunkelkammer, das Herz eine Pumpe, die Muskulatur ein kompliziertes, nur vom Standpunkt der reinen Mechanik

verständliches Hebelsystem, welches die scheinbar verwickelsten Probleme mit den einfachsten Mitteln löst. So werden alle denkbaren Bewegungen des Auges durch sechs Muskelstränge bewirkt, welche wie ziehende Fäden auf eine um ihren Mittelpunkt bewegliche Kugel wirken; freilich, der volle Ausdruck des Augenaufschlagès, das Senken des Blickes, wovon die Novellendichter erzählen, ist durch die äußere Dekoration, das Spiel der Augenlider und Gesichtsmuskel und anderes mitbedingt.

Die Anwendbarkeit der Mechanik erstreckt sich nun weiter in das Gebiet des Geistigen hinein, als man bei oberflächlicher Betrachtung vermuten würde. Wer hätte z. B. nicht schon Beobachtungen gemacht, welche die mechanische Natur des Gedächtnisses belegen? Nicht selten mußte ich einst, um mir eine griechische Vokabel ins Gedächtnis zurückzurufen, eine ganze Reihe memorierter homerischer Verse rezitieren, wobei sich dann das Wort an der betreffenden Stelle sofort einstellte. Als ich mich wochenlang ausschließlich mit Hertz Mechanik befaßt hatte, wollte ich einmal mit den Worten „Liebes Herz" einen Brief an meine Frau beginnen, und ehe ich mich versah, hatte ich Herz mit tz geschrieben.

Jedermann weiß, wie oft uns die angeborene Weckuhr, die wir im Gedächtnisse besitzen, im Stiche läßt, wenn sie nicht durch besondere Mechanismen (einen Knopf im Taschentuche, Hängen des Regenschirmes über den Winterrock) unterstüzt wird. Als ich am Tage der Übersiedlung nach Leipzig ans Fenster ging, um in gewohnter Weise das Thermometer abzulesen, das ich Tags vorher selbst abgeschraubt hatte, rief ich aus: „Ich besitze keinen anderen Mechanismus, der so schlecht funktioniert, wie mein Gedächtnis, um nicht gar zu sagen, als mein Verstand!"

So können wir also in unserem Körper einen kunstvollen Mechanismus erblicken, und auch die Krankheiten desselben sind durch rein mechanische Ursachen erklärbar. Großen Nutzen hat schon diese Erkenntnis gebracht, indem sie den mechanischen Eingriffen des Chirurgen Weg und Ziel zeigte, indem sie den wahren Mechanismus der Infektionskrankheiten aufdeckte, diese durch Abhaltung der krankheiterregenden Bakterien verhütete, oder durch deren Tötung heilte. In den

meisten Fällen freilich stehen wir noch machtlos den Gewalten der Natur gegenüber, aber die Mechanik hilft uns doch, sie zu begreifen und damit auch zu ertragen.

Wir haben noch der wunderbarsten mechanischen Theorie auf dem Gebiete der biologischen Wissenschaften zu gedenken, nämlich der Lehre Darwins. Diese unternimmt es, aus dem rein mechanischen Prinzipe der Vererbung, welches an sich freilich wie alle mechanischen Urprinzipe, dunkel ist, die ganze Mannigfaltigkeit der Pflanzen- und Tierwelt zu erklären.

Die Erklärung der wunderbaren Schönheit der Blumen, des Formenreichtums der Insektenwelt, der Zweckmäßigkeit des Baues der Organe des menschlichen und tierischen Körpers, das alles wird hiermit zur Domäne der Mechanik. Wir begreifen, wieso es für unsere Gattung nützlich und wichtig war, daß gewisse Sinneseindrücke uns schmeichelten und von uns gesucht wurden, andere uns abstießen; wir ersehen, wie vorteilhaft es war, möglichst genaue Bilder der Umgebung in unserem Geiste zu konstruieren und das„ was von diesen mit der Erfahrung stimmte, als wahr, streng auseinander zu halten von dem nicht stimmenden, dem Falschen. Wir können also die Entstehung der Begriffe der Schönheit ebensowohl als der Wahrheit mechanisch erklären.

Wir verstehen aber auch, warum nur solche Individuen fortexistieren konnten, welche gewisse höchst verderbliche Einwirkungen mit der ganzen Intensität ihrer Nervenkraft verabscheuten und hintan zu halten suchten, andere für ihre oder die Erhaltung der Gattung notwendige, aber mit gleicher Lebhaftigkeit anstrebten. Wir begreifen so, wie sich die ganze Intensität und Macht unseres Gefühlslebens entwickelte, Lust und Schmerz, Haß und Liebe, Wunsch und Furcht, Seligkeit und Verzweiflung. Geradeso, wie unsere körperlichen Krankheiten können wir auch die ganze Stufenleiter unserer Leidenschaften nicht loswerden, aber wir lernen sie wiederum begreifen und ertragen.

In erster Linie wird es nun ohne Frage für jedes Individuum von Wichtigkeit sein, daß sein Streben auf die eigene Erhaltung gerichtet ist, und es erscheint der Egoismus nicht als Fehler, sondern als Notwendigkeit. Aber für die Erhaltung der Gattung ist es von größtem Nutzen, wenn die

verschiedenen Individuen sich unterstützen, und beim Zusammenwirken der einzelne sich dem Ganzen unterordnet. So verstehen wir die Notwendigkeit von Eigensinn und Trotz schon beim Kinde, aber auch von Zusammenhalten und Geselligkeit im gemeinsamen Spiele; wir verstehen an unserem Geschlechte Eigennutz und Mitgefühl, Scham und Begierde, Freiheitsliebe und Knechtssinn, Tugend und Laster, Todesfurcht und Todesverachtung. Welchen Vorteil gewährt es für einmütiges Wirken im Frieden und Kriege, wenn sich der Jüngling für Großes und Edles, Freundschaft und Liebe, Freiheit und Vaterland begeistert, aber wie leicht artet wieder dieser Trieb zum Phrasentum, zur tatenlosen Schwärmerei aus. Die Empfänglichkeit für Erhebung des Herzens und Begeisterung mußte sich daher ebenso notwendig in unserem Geschlechte bilden, wie Nüchternheit und Egoismus, als deren notwendiges Gegengewicht. So begreifen wir aus mechanischen Ursachen, daß der Jüngling für die Poesie Schillers erglüht, und so viele die Dichtungen Heines verurteilen, welche doch wieder auf andere so mächtig und unwiderstehlich wirken. Es muß ja auch das Wasser des aufsteigenden Springbrunnens eine lebendige Kraft besitzen, welche für sich allein imstande wäre, es in den unendlichen Raum hinauszuschleudern; aber ebenso mechanisch notwendig ist die Gegenwirkung der Schwere und des Druckes unzähliger Luftteilchen, die es wieder rechtzeitig zur mütterlichen Erde zurückführen. Wollte man sich pikant ausdrücken, so könnte man sich zur Behauptung versteigen, daß nicht nur das abscheulichste Laster, sondern auch die höchste Tugend gewissermaßen eine Verirrung ist, darin begründet, daß unsere angeborenen Triebe übers Ziel hinausschießen. Denn allzu großer Idealismus trübt den praktischen Sinn und ist daher das der banausischen Gesinnung entgegengesetzte auch wieder schädliche Extrem. Solche Paradoxa liegen näher, als man glaubt und entstehen immer bei Betrachtung der Dinge von einem einseitigen Standpunkte, wie die Zerrbilder bei Anwendung von Zylinder- oder Kegelspiegeln. In ähnlicher Weise hat man behauptet, daß das Genie eine Geisteskrankheit sei.

Ja nicht einmal für seine Gattung allein kann der Mensch das Ideal beanspruchen. Dadurch, daß er ihn für Untreue

peitschte, für Treue fütterte, hat er dem Hunde die Treue gerade so anerzogen, wie der Kuh die reichliche Milchabsonderung, der Gans die große Leber. Der anhänglichere Hund wurde im Kampfe ums Dasein vom Menschen stets begünstigt und so wuchs Anhänglichkeit und Treue beim Hundegeschlechte in immer größerem Maße. Wenn nun, wie es oft vorkommt, ein Hund, der seinen Herrn verloren hat, nicht mehr frißt und vor Gram langsam zugrunde geht, ist das nicht ein Idealismus, wie wir ihn kaum beim Menschen finden, sicherlich nicht bei Dienern unserer modernen Zeit! Daher war mancher Philosoph versucht, den Hund moralisch höher zu stellen als den Menschen, wie man sich versucht fühlen kann, die automatische Nestbaukunst des Vogels über die mühsam erlernte und Irrtümern unterworfene des Architekten zu stellen.

In der Natur und Kunst herrscht also die allgewaltige Mechanik, sie herrscht auch ebenso in der Politik und dem sozialen Leben. Vermöge des mächtigen Triebes nach Selbständigkeit, von dem wir sahen, daß er sich schon im Kinde mit Notwendigkeit entwickeln muß, läßt sich der einzelne nur ungern von anderen beherrschen und liebt in gesellschaftlichen Vereinigungen, Städten, Gemeinwesen und im Staate die republikanische Regierungsform. Aber dieser stellen sich auf der anderen Seite wieder mechanische Schwierigkeiten entgegen. Jeder, der öffentlichen Debatten beigewohnt hat, weiß, ein wie schwerfälliger, zu raschem, konsequentem Handeln ungeeigneter Organismus eine öffentliche Versammlung ist und wie häufig diese wegen des geringen Teiles von Verantwortlichkeit, der auf den einzelnen entfällt, Fehler in der Beschlußfassung macht. Noch erleichtert wird dies durch den Umstand, den Schiller mit den Worten charakterisiert: „Verstand ist stets bei wenigen nur gewesen.“ Aus diesen Ursachen erhellen wieder die Vorteile der Herrschaft weniger oder eines einzelnen. So beruht in der Tat das Zusammenwirken der verschiedenartigsten Persönlichkeiten in Volksversammlungen ebenso wie die meisterhafte Lenkung der widerstrebenden Willensäußerungen der Menge durch einen einzelnen auf der Mechanik der Psychologie. Bismarck durchschaute die Seele seiner politischen Gegner so klar, wie der Maschinentechniker das Räderwerk seiner Ma-

schine und wußte so genau, wie er sie zu den gewünschten Handlungen zu bewegen habe, als der Maschinist weiß, auf welchen Hebel er drücken muß. Die begeisterte Freiheitsliebe eines Cato, Brutus und Verrina entstammt Gefühlen, die durch rein mechanische Ursachen in ihrer Brust keimten uns es erklärt sich wiederum mechanisch, daß wir mit Behagen in einem wohlgeordneten monarchischen Staate leben und doch gerne sehen, wenn unsere Söhne den Plutarch und Schiller lesen und sich an den Reden und Taten schwärmerischer Republikaner begeistern. Auch hieran können wir nichts ändern; aber wir lernen es begreifen und ertragen. Der Gott, von dessen Gnade die Könige regieren, ist das Grundgesetz der Mechanik.

Es ist bekannt, daß die Darwinsche Lehre keineswegs bloß die Zweckmäßigkeit der Organe des menschlichen und tierischen Körpers erklärt, sondern auch davon Rechenschaft gibt, warum sich oft Unzweckmäßiges, rudimentäre Organe, ja geradezu Fehler in der Organisation bilden konnten und mußten.

Nicht anders geht es auf dem Gebiete unserer Triebe und Leidenschaften. Durch die Anpassung und Vererbung konnten sich bloß die Grundtriebe herausbilden, welche im großen und ganzen für die Erhaltung des Individuums und Geschlechtes notwendig sind. Es ist dabei nicht zu vermeiden, daß in einzelnen Fällen diese Grundtriebe falsch wirken und unnütz, ja sogar schädlich werden. Oft schießen die uns angeborenen Triebe gewissermaßen über das Ziel hinaus. Die Kraft, mit der sie sich unserem Geiste assoziiert haben, um gewisse Wirkungen zu erzielen, ist so enorm, daß wir sie nicht sofort wieder loswerden können, wenn diese Wirkungen erzielt sind und nunmehr der zur Gewohnheit gewordene Trieb überflüssig oder schädlich ist. So übertrifft für das neugeborene Kind der Trieb des Saugens alle anderen an Wichtigkeit; kein Wunder daher, daß er auch alle anderen an Intensität übertrifft und später lästig wird, wenn das schon vernünftig gewordene Kind ihn oft unglaublich lange nicht mehr loswerden kann. Die Erwachsenen belächeln dies und doch nimmt bei ihnen das unzweckmäßige und verkehrte Fortwirken des zur Erhaltung der Art dienenden Triebes nicht selten noch viel absurdere Formen an.

Analoge Erscheinungen finden sich auf rein geistigem Gebiete. So haben wir unsere Gefühle so sehr an bestimmte Vorstellungen und Eindrücke assoziiert, daß uns eine geschickt abgefaßte erfundene Erzählung oder ein Theaterstück weit mehr zu Herzen geht als ein kurzer wahrheitsgetreuer Bericht eines wirklichen Unglückes von Personen, die uns ferne stehen.

Ähnliche Wirkungen kommen im Gebiete des philosophischen Denkens vor. Wir sind gewohnt, den Wert oder Unwert der verschiedenen Dinge zu beurteilen, je nachdem sie für unser Leben förderlich oder schädlich sind. Dies wird uns so zur Gewohnheit, daß wir schließlich über den Wert oder Unwert des Lebens selbst urteilen zu können glauben, ja daß über dieses verkehrte Thema ganze Bücher geschrieben wurden.

Nach meiner Überzeugung sind die Denkgesetze dadurch entstanden, daß sich die Verknüpfung der inneren Ideen, die wir von den Gegenständen entwerfen, immer mehr der Verknüpfung der Gegenstände anpaßte. Alle Verknüpfungsregeln, welche auf Widersprüche mit der Erfahrung führten, wurden verworfen und dagegen die allzeit auf Richtiges führenden mit solcher Energie festgehalten und dieses Festhalten vererbte sich so konsequent fort auf die Nachkommen, daß wir in solchen Regeln schließlich Axiome oder angeborene Denknotwendigkeiten sahen. Aber auch hier, also selbst in der Logik, ist ein über das Ziel Hinausschießen nicht ausgeschlossen. Ja gerade wegen der Abstraktheit und scheinbaren Durchsichtigkeit des Gebietes äfft es uns in solchen Fällen am allermeisten. Ich sehe hierin den Ursprung jener Widersprüche, welche bei Kant als Antinomien, in neuerer Zeit als Welträtsel bezeichnet werden. Es sei mir gestattet, einige derartige Beispiele anzuführen. Wir haben fortwährend Begriffe in einfachere Elemente zu zerlegen, Erscheinungen aus uns schon bekannten Gesetzen zu erklären. Diese so überaus nützliche und notwendige Tätigkeit wird uns nun so zur Gewohnheit, daß der zwingende Schein entsteht, es müßten auch die einfachsten Begriffe noch in ihre Elemente zerlegt, auch die Elementargesetze noch auf einfachere zurückgeführt werden.

Fragen, wie die nach der Definition des Zahlbegriffes, nach der Ursache des Kausalitätsgesetzes, nach dem Wesen

der Materie, Kraft, Energie usw. drängen sich immer wieder unwiderstehlich auf, selbst dem philosophisch Geschulten. Er ist überzeugt, daß diese Begriffe direkt aus der Erfahrung entnommen und nicht weiter erklärbar sind, daß also hier einfach die unwiderstehlich gewordene Denkgewohnheit, nach der Ursache und Definition zu fragen, über das Ziel hinausschießt, trotzdem kann er eine gewisse zurückbleibende Unbefriedigtheit darüber nicht überwinden, daß so wichtige Begriffe, wie der der Zahl oder der der Kausalität, jedem Versuche spotten, sie zu definieren. Es geht hier ähnlich, wie wenn eine Gesichtstäuschung noch immer nicht verschwindet, selbst nachdem man ihre mechanische Ursache klar erkannt hat.

Noch ein Schritt weiter ist es, wenn wir es unerklärlich und rätselhaft finden, daß wir selbst, oder daß überhaupt irgend etwas existiert und diesen Gedanken nicht ganz loswerden, selbst wenn wir erkannt haben, daß hier der Begriff des Rätselhaften so wenig Anwendung finden kann, wie der Begriff des Wertes oder Unwertes bei Beurteilung des ganzen Lebens.

Ein anderes hierher gehöriges Beispiel liefert die schon alte, jetzt als Solipsismus bezeichnete Verirrung. Gleichwie es mechanisch erklärbar ist, daß eine Blutwelle in unserem Ohre die Empfindung eines Tones erzeugen kann, dem kein äußerer Eindruck entspricht oder, daß wir Nachbilder heller Gegenstände noch wahrnehmen, nachdem diese unserm Blicke entschwunden sind; ja, daß wir selbst in vollkommener Finsternis mannigfaltige, oft phantastische Gebilde sehen, denen keinerlei Gegenstände entsprechen, so ist es auch begreiflich, daß unser Bewußtseinsorgan im Traume eine von der Außenwelt ganz unabhängige phantastische Tätigkeit entfaltet. Eine ähnliche, in gemildertem Maße auftretende Tätigkeit ist als Phantasie sogar zur Bildung neuer Ideenverbindungen nützlich und notwendig. Aber auch diese schießt wieder oft über das Ziel hinaus. Der naive Mensch betrachtet Sonne und Mond, Bäume und Quellen als beseelte Wesen, aber auch der gebildete denkt sich jede Kraft noch unter dem Bilde einer menschlichen Kraftanstrengung. In diesen Fällen ist dann eine strenge Kontrolle, eine scharfe Negation von allem bloß Hinzugeträumten notwendig. Diese wird durch häu-

fige Übung wieder zur Gewohnheit. Indem man sie auf die Spitze treibt und auch anwendet, wo sie nicht hingehört, kommt man zur Idee, daß überhaupt alle unsere Vorstellungen Träume seien und nichts existiere, als der vorstellende, also ein einziger träumender Mensch. Diese Verirrung ist ebenso vom Standpunkte der Darwinschen Theorie begreiflich, wie die Entwicklung unserer normalen Vorstellungstätigkeit. Die mechanische Natur der letzteren wird aber neuerdings dokumentiert durch die Möglichkeit ihrer Verwirrung schon im gesunden Zustande durch Schlaf, mehr aber noch im kranken durch Halluzinationen, Fieberphantasien und Wahnsinn.

Vom Standpunkt der Darwinschen Theorie ist auch das Verhältnis des Instinktes der Tierwelt zum Verstande des Menschen begreiflich. Je vollkommener ein Tier ist, desto mehr treten bei demselben neben dem Instinkte bereits Spuren von Verstand auf.

Einem Tiere, das nur einer geringen Zahl von Handlungen bedarf, welche zudem fortwährend unter außerordentlich ähnlichen Verhältnissen zu erfolgen haben, ist es von höchstem Nutzen, wenn ihm, ohne daß es viel zu überlegen braucht, sogleich der Trieb zur richtigen Handlungsweise direkt angeboren ist, wie dem Vogel, der ohne Unterweisung vermöge angeborenen Instinktes mit bewunderungswürdiger Kunstfertigkeit Nester zu bauen versteht. Uns erschiene es wohl auf den ersten Anblick als ein weit vollkommenerer Zustand, wenn wir ohne Unterricht und ohne vieles Nachdenken stets das Richtige zu treffen wüßten. Während es aber unter den einfachen Bedingungen, unter denen sich jene Tiere befinden, das Leichtere und minder Komplizierte war, daß sich ihnen der Trieb zur ganzen Handlungsweise in summa vererbte, so steht dies wieder jeder Anpassung an geänderte Verhältnisse, jedem Fortschritte entgegen und unter komplizierten Lebensbedingungen erweist sich die dem Menschen angeborene Fähigkeit bei weitem überlegen, sich innere Bilder der äußeren Ereignisse zu konstruieren, mittels derselben Erfahrungen zu sammeln und diesen gemäß die Handlungen in jedem Falle regulieren zu können.

Übrigens tritt beim Menschen der Instinkt zwar sehr zurück, seine Spuren sind aber doch überall noch bemerkbar, und zwar keineswegs bloß in Fällen, wie der schon erwähnte

Saugtrieb, oder der Nachahmungstrieb der Kinder, sondern auch bei allen elementaren, das Nachdenken unterdrückenden oder ihm vorauseilenden Trieben der Erwachsenen. Der Schreck bei einem plötzlichen Geräusche, die Furcht bei plötzlicher Gefahr kommen ebenso unserm verständigen Handeln wider unsern Willen zuvor, wie der Zorn bei einem jähen Angriffe. Die ererbte Gewohnheit, gegen starke Eindrücke heftig zu reagieren, welche nützlich ist, um unserem Handeln den nötigen Nachdruck und die nötige Lebhaftigkeit zu verleihen, übt da eine unbezwingliche Wirkung aus und wird schädlich, wenn sie der Überlegung allzusehr vorauseilt. Überhaupt entstammen die Grundtriebe unseres Charakters, sowohl Genußsucht und Trägheit, als auch Ehrgeiz, Herrschsucht, Mitleid und Neid ererbten Anlagen, also in erster Linie angeborenen Instinkten. Wieweit sind wir davon entfernt, daß reine Verstandesgründe die Motive aller unserer Handlungen wären? Die innersten Impulse zu denselben entstammen noch immer meist angeborenen Trieben und Leidenschaften, also ohne unser Zutun in uns keimenden Instinkten, welche, wenn sie den Verstand beherrschen, zwar schädlich und verwerflich werden, aber doch notwendig sind, um unserer Handlungsweise Lebhaftigkeit, unserem Charakter seine eigentümliche Färbung zu verleihen. Das Weltgetriebe erhält sich, wie Schiller sagt, „heute wie ehemals durch Hunger und durch Liebe und die Zeit ist noch ferne, wo Philosophie den Ring der Welt zusammenhält."

Einen instinktiven Charakter hat auch der Aberglaube, welchen oft selbst die gebildetsten Menschen nicht ganz los werden. Derselbe entsteht durch Fortwirken unseres Kausalbedürfnisses in Fällen, wo dazu keine Berechtigung vorhanden ist. Die Gewohnheit, überall Kausalverbindungen zu suchen, veranlaßt uns, rein zufällig scheinende Ereignisse mit irgend anderen, oft ganz heterogenen kausal zu verknüpfen, und das Gesetz von Ursache und Wirkung, welches richtig angewandt die Grundlage aller Erkenntnis ist, wird zum Irrlichte, das uns auf falsche Pfade führt.

Nun erübrigt noch zu erinnern, wie gut auch der ganze Mechanismus der sozialen Einrichtungen in den Rahmen unserer Betrachtungen paßt. Da haben wir unzählige Anstandsregeln und Höflichkeitsformen teilweise so unnatürlich und

gezwungen, daß sie vom Standpunkt einer unbefangenen Überlegung, die man öfters Vernunft nennt, die aber die Allmacht der Mechanik vergißt, absurd und lächerlich erscheinen. Diese Anstandsregeln sind nicht zu allen Zeiten dieselben; bei fremden Völkern weichen sie von den unseren oft so sehr ab, daß wir ganz verwirrt werden; aber sie müssen sein.

Die Tätigkeit der Konservativen, der pedantischen, zopfigen, steifen Anstandsrichter, die über die genaue Beobachtung jeder hergebrachten Sitte und jeder Regel für den gesellschaftlichen Verkehr, über genaue Verwendung aller ihrer Titel bei Ansprachen und Zubilligung aller ihrer gesellschaftlichen Vorrechte wachen, erscheint uns oft lächerlich; aber sie ist wohltätig und muß sein, damit nicht Verrohung des gesellschaftlichen Verkehrs eintritt. Dafür, daß sie nicht zur Versteinerung des Geistes führt, sorgen wieder die Emanzipierten, Ungezwungenen, die hommes sans gêne. Beide Gattungen von Menschen bekämpfen einander und halten zusammen die Gesellschaft im richtigen Gleichgewicht.

Auf einem ganz andern Gebiete des sozialen Lebens wirkt ein anderer Mechanismus bei steter regster Bewegung immer das Gleichgewicht bewahrend, einer der großartigsten bewunderungswürdigsten Mechanismen, die die Menschheit geschaffen hat, der des Kapitals, des Geldes. Man lese Zolas Roman „L'argent". Den primitiven Tauschhandel der Urvölker hat es derart verfeinert, daß die verschiedenen Formen des Geldes mit allen Gesetzen und hergebrachten Regeln des kaufmännischen und Börsenverkehrs bewunderungswürdiger ineinandergreifen, als die Räder des kompliziertesten Uhrwerks, und mit gleicher Lebhaftigkeit, Sicherheit und Präzision arbeiten wie die bestkonstruierten Elektromotoren.

Wer zu kurz gekommen, schimpft über den Mammon; der Schwindler, der die Regeln aus Gewinnsucht verdreht, wird ausgestoßen wie unbrauchbare Stoffe aus einem lebenden Organismus; aber für unsere moderne Zivilisation ist der Geld- und Börsenverkehr ebenso wichtig als die Buchdruckerkunst, der Dampf, die Elektrizität.

Übt der einzelne nicht eine Zaubermacht aus, wenn ihm eine Menge an sich ganz wertloser Metallstücke zum Mittel wird, Paläste, Parke, Yachten, kurz, alles zu schaffen, was

das Leben verschönt, ja Preise zu stiften, die noch lange nach seinem Tode zur Schaffung von Meisterwerken der Kunst und Wissenschaft wesentlich beitragen? Doch der Zauberer selbst, unterliegt er nicht auch wieder den Gesetzen der Mechanik, wenn ihm die falsche Stellung eines Häutchens in seinem Herzen, der Wandbruch eines Äderchens in seinem Gehirne die Benutzung aller angesammelten Herrlichkeiten entzieht und mit einem Schlage den Mächtigen in ein Stück toten Stoffes verwandelt?

Ja, auch die Verspottung des Papiergeldes scheint mir ein einseitiger Standpunkt zu sein. Dieses hat doch wohl auch eine andere Seite als die in Goethes Faust in so grelles Licht gesetzte. Ja, wenn wir darunter alle Wertpapiere, Obligationen, Wechsel u. dergl. einbegreifen, so ist es geradezu die Krone des wichtigsten Teiles des menschlichen Verkehrs, des Mechanismus, der Mein und Dein den heutigen komplizierten Bedürfnissen entsprechend regelt.

Um vom Großartigen wieder zum Kleinlichen überzugehen, erinnere ich, daß der unwiderstehliche, im Falle geringen Nachlassens durch Klatschsucht stets wieder geschärfte Trieb zum Putzen durch Entfernungen aller schädlichen Ansteckungsstoffe aus den Wohnungen von höchstem Nutzen ist. Freilich schießt er übers Ziel hinaus, wenn z. B. Messingteile stets blank erhalten werden, deren Patina nicht nur unschädlich, sondern bei der heutigen grellen Abendbeleuchtung sogar dem Auge wohltätig wäre. Aber ich will beileibe nicht behaupten, daß wir besser daran wären, wenn das Staubabwischen den Bakteriologen an stelle der Hausbediensteten übertragen würde.

Weitere Beispiele für meine These zu finden, wäre ich nicht verlegen; ich wäre eher verlegen, irgend einen Vorgang zu finden, der nicht Beispiel dafür wäre.

Wir haben hiermit nicht nur unsere körperlichen Organe, sondern auch unser Seelenleben, ja Kunst und Wissenschaft, Gefühlseindrücke und Begeisterung zur Domäne der Mechanik gemacht. Ist nun die Mechanik zur Darstellung dieser Dinge nicht in der Tat allzu mechanisch? Selbst der komplizierteste von Menschenhand verfertigte Mechanismus, wie geringfügig und leblos ist er gegenüber dem einfachsten pflanzlichen oder tierischen Gebilde!

Ich sehe voraus, welch ein Grauen bei meinen letzten Ausführungen den Schwärmer befällt, wie er fürchtet, daß alles Große und Erhabene zum toten fühllosen Mechanismus entwürdigt wird und alle Poesie dahinsinkt. Aber mir scheint alle diese Furcht auf einem völligen Mißverständnisse des Vorgebrachten zu beruhen.

Unsere Ideen von den Dingen sind ja niemals mit dem Wesen derselben identisch. Es sind bloße Bilder, oder vielmehr Zeichen dafür, welche das bezeichnete notwendig einseitig darstellen, ja, nichts weiter leisten können, als daß sie gewisse Arten der Verknüpfungen daran nachahmen, wobei das Wesen völlig unberührt bleibt.

Wir brauchen also von der Schärfe und Bestimmtheit unserer früheren Ausdrücke nichts zurückzunehmen. Wir haben damit doch nichts weiter getan, als daß wir eine gewisse Analogie zwischen den seelischen Phänomenen und den einfachen Mechanismen der Natur behauptet haben. Wir haben nur ein einseitiges Bild konstruiert zum Behufe der Versinnlichung gewisser Verknüpfungen der Erscheinungen und Voraussage neuer uns unbekannter. Neben diesem einen Bilde können und müssen aber wegen seiner Einseitigkeit andere einhergehen, welche die innerliche, die ethische Seite des Gegenstandes darstellen und die Erhebung unserer Seele durch die letzteren wird nicht mehr gemindert werden, sobald wir vom mechanischen Bilde die richtige Auffassung haben. Dasselbe wird nur dort anzuwenden sein, wo es hingehört; aber wir werden seinen Nutzen nicht bestreiten und bedenken, daß auch die erhabensten Ideen und Vorstellungen doch wieder nur Bilder, nur äußere Zeichen für die Art der Verknüpfung von Erscheinungen sind.

Damit entfällt auch der Einwand, der wohl vielleicht gegen meine Ausführungen erhoben werden wird, daß dieselben der Religion zuwiderliefen. Nichts ist verkehrter, als die auf ganz anderer ungleich festerer Basis ruhenden religiösen Begrife mit den schwankenden subjektiven Bildern in Verbindung zu bringen, welche wir uns von den Außendingen machen. Ich wäre der letzte, der die vorgebrachten Ansichten aufstellte, wenn sie irgend eine Gefahr für die Religion bergen würden. Aber ich weiß gewiß, daß die Zeit kommen wird, wo jedermann einsieht, daß dieselben für die

Religion ebenso irrelevant sind, wie die Frage, ob die Erde still steht oder sich um die Sonne bewegt.

Indes das Prinzip der mechanischen Erklärung seine Herrschaft im Reiche der gesamten Wissenschaft immer mehr ausdehnte, verlor es merkwürdigerweise auf seinem eigensten Gebiete, dem der theoretischen Physik, wieder an Boden. Die Ursache davon lag, wie dies auch bei erobernden Nationen oft der Fall ist, teils im inneren Zwiespalte, teils auch in äußeren Verhältnissen.

Während man mit dem größten Erfolge bestrebt war, die Anwendungen der Mechanik bis ins kleinste Detail auszuarbeiten, trat eine Richtung auf, welche an den Grundpfeilern derselben zu rütteln begann und auf Unklarheiten in den Prinzipien der Mechanik hinwies. Der grundlegende Begriff der Mechanik ist der der Bewegung. Der Begriff der reinen von jeder andern Veränderung losgelösten Bewegung tritt nur bei der Betrachtung starrer Körper vollkommen klar zutage. Hier haben wir in der Tat ein vollkommen unveränderliches Gebilde, an dem sich nichts als seine Lage im Raume verändert. Es gibt nun in der Natur keinen vollkommen starren Körper, aber allerdings feste Körper, welche ihre Gestalt während der Bewegung nur unmerklich ändern. Die Gestaltveränderungen der Flüssigkeiten und Gase sucht man ungezwungen auf die Bewegung ihrer kleinsten Teile zurückzuführen. Sie haben ja in der Tat schon für das Auge Ähnlichkeit mit den Formveränderungen eines Sandhaufens, der aus einzelnen, sinnlich wahrnehmbaren Körnern besteht. Dennoch liegt für die wirkliche Flüssigkeit etwas Hypothetisches in der Annahme, daß sich auch bei dieser jedes einzelne Teilchen zu allen Zeiten identifizieren läßt. Erfahrungsgemäß ist uns ja nur die Unveränderlichkeit der Gesamtmasse und des Gesamtgewichtes gegeben.

Man suchte nun a priori zu beweisen, daß sich jede auch scheinbar qualitative Veränderung auf eine Bewegung kleinster Teile zurückführen lassen müsse, da eine Bewegung der einzige Vorgang sei, wobei der bewegte Gegenstand immer derselbe bleibt. Ich halte alle derartigen metaphysischen Gründe für unzureichend. Freilich den Begriff der Bewegung müssen wir jedenfalls bilden. Wenn sich daher alle scheinbar qualitativen Veränderungen unter dem Bilde von Bewegungen oder Änderungen der Anordnung kleinster Teile dar-

stellen ließen, so würde dies zu einer besonders einfachen Naturerklärung führen. Die Natur würde uns dann am begreiflichsten erscheinen. Allein wir können sie dazu nicht zwingen. Die Möglichkeit, daß dies nicht angeht, daß wir zur Darstellung der Natur auch noch andere Bilder von anderen Veränderungen notwendig haben, muß offen gelassen werden, und es ist begreiflich, daß die Berücksichtigung dieser Möglichkeit gerade durch die neuere Entwicklung der Physik nahegelegt wurde.

Die mechanische Physik hatte sich alle Körper als Aggregate materieller Punkte gedacht, welche direkt in die Ferne aufeinander wirken. In ganz kleine (molekulare) Entfernungen sollten die Kohäsions-, Adhäsions- und chemischen Kräfte wirken, in weitere Distanzen die Gravitation. Neben der ponderabeln Materie wurde noch der Lichtäther angenommen, den man sich vollkommen analog einem festen Körper dachte, wogegen man die elektromagnetischen Erscheinungen, wie wir schon eingangs erörterten, durch die elektrischen und magnetischen Fluida erklärte, deren Teilchen ebenfalls direkt in die Ferne aufeinander wirken sollten. Die letztere Hypothese wußte lange allen beobachteten Erscheinungen gerecht zu werden. Erst vor wenig mehr als 10 Jahren gelang es Hertz, durch Versuche zu bewiesen, daß, wie schon Faraday und Maxwell vermutet hatten, die elektrischen und magnetischen Kräfte nicht unmittelbar in die Ferne wirken, sondern durch Zustandsveränderungen bedingt sind, welche sich mit der Lichtgeschwindigkeit von Volumelement zu Volumelement fortpflanzen. Dadurch erhielt die altehrwürdige Theorie der elektrischen Fluida einen Stoß, dem sie auch bald erlag. Aber auch noch eine andere Theorie wurde durch Hertz' Versuche getroffen. Es zeigten nämlich die Gesetze der Fortpflanzung der elektromagnetischen Wellen eine so absolute Übereinstimmung mit den Gesetzen der Lichtbewegung, daß an der Identität beider Erscheinungen nicht mehr gezweifelt werden konnte. War damit auch noch nicht definitiv widerlegt, daß das Licht auf einer schwingenden Bewegung der kleinsten Teilchen eines Lichtäthers beruht, so war doch erwiesen, daß dieser Lichtäther sicherlich andere viel kompliziertere Eigenschaften haben muß, als man ihm bisher beigelegt hatte. Hierdurch gewann die Theorie der

Elektrizität und des Magnetismus ein solches Übergewicht, daß von einigen Seiten der Versuch gemacht wurde, an Stelle der mechanischen Hegemonie in der theoretischen Physik eine solche des Elektromagnetismus zu setzen, indem man versuchte, umgekehrt die einfachsten Gesetze der Mechanik aus der Theorie des Elektromagnetismus herzuleiten.

Anderseits war man gegen alle Hypothesen mißtrauisch geworden und beschränkte die Aufgabe der Theorie darauf, eine nirgends über das erfahrungsmäßig Gegebene hinausgehende Beschreibung der Erscheinungen zu liefern. Man hat da die Wahl zwischen zwei extremen Methoden. Macht man zu spezielle Hypothesen, so läuft man Gefahr, Überflüssiges und sogar Unrichtiges in den Vorstellungskreis aufzunehmen. Sucht man sich dagegen aller Hypothesen zu entschlagen, so wird die Theorie unbestimmt und ungeeignet, ganz neuartige Erscheinungen vorauszusagen und so das Experiment auf neue Bahnen zu lenken. Man begreift, daß auf eine Zeit allzu kühner Hypothesen eine entsprechende Reaktion folgte.

Dazu kam, daß ein Begirff, dessen Wichtigkeit schon von Leibniz klar erkannt wurde, und der längst in der Mechanik eine bedeutende Rolle spielte, sich allmählich zum mächtigen, die ganze Erscheinungswelt umfassenden Bande herauswuchs, nämlich der der Energie. Obwohl abstrakter als der Begriff der Materie, konnte er doch auch bei jenen Erscheinungen noch genau verfolgt und sogar quantitativ bestimmt werden, wo uns alle Anhaltspunkte über eine Materie, an die sie etwa gebunden wären, fehlen.

Die Energie zeigt nun in jeder ihrer Erscheinungsformen andere charakteristische Eigentümlichkeiten und doch wieder merkwürdige Analogien, so daß die Lehre von den Wandlungen und Eigenschaften der Energie bald so einflußreich wurde, daß sie auch ihrerseits die Hegemonie in der theoretischen Physik anstrebte und diese zur Energetik zu machen suchte. Ich brauche dies gerade hier nicht weiter zu erörtern, da ja sowohl die extremste Richtung der direkten Fernwirkung, als auch die Energetik je in einer Antrittsvorlesung eines Mitglieds dieser Universität so lichtvoll behandelt wurden.

Was die formale logische Grundlage betrifft, so hatte die alte Mechanik sich dem Dualismus zwischen Kraft und Stoff

angeschlossen. Die Materie ist das Bewegliche. Man ist nun gewohnt, für jede spezielle Bewegung die Ursache aufzusuchen. Indem man diese Denkgewohnheit über die Grenzen ihrer Berechtigung ausdehnte, also in ihrer Anwendung über das Ziel hinausschoß, glaubte man auch dafür, daß überhaupt Bewegungserscheinungen eintreten, eine besondere von der Materie getrennte Ursache annehmen zu müssen, welcher man den Namen Kraft gab und neben der Materie eine besondere Existenz zuschrieb. Kirchhoff leugnete die Notwendigkeit hiervon und glaubte, mit der bloßen Annahme der Materie und der Tatsache ihrer Bewegung nach bestimmten zu beschreibenden Gesetzen ausreichen zu können. Er behielt jedoch die direkte Fernwirkung bei. Wenn wir aber ernstlich fragen, was von derselben nach unsern heutigen Anschauungen übrig geblieben ist, so finden wir nicht mehr viel. Die elektrischen und magnetischen Kräfte wirken nicht in die Entfernung, sondern von Volumelement zu Volumelement. Von den elastischen und chemischen Kräften, von der Adhäsion und Kohäsion, deren Wirkungsbereich ohnedies ein winzig kleiner ist, kann ebenfalls keine direkte Fernwirkung nachgewiesen werden. Es bleibt nur die Gravitation, aber auch hier läßt die Analogie des Wirkungsgesetzes mit dem der elektrostatischen und magnetischen Kräfte die Vermittelung durch ein Medium wahrscheinlich erscheinen.

Wenn auch Newton selbst die direkte Fernwirkung nur als einen Notbehelf erklärte, so ist doch das ganze Gebäude der klassischen Mechanik auf die Idee derselben zugeschnitten. Es kann uns daher nicht wundern, daß Hertz dasselbe von Grund aus zu reformieren suchte und an Stelle der beschleunigenden Wirkungen Bedingungsgleichungen setzte. Aber auch Hertz konstruierte die Materie aus materiellen Punkten. Dieselben üben zwar keine Kräfte in die Ferne aufeinander aus, aber die Bedingungen, welche zwischen ihnen bestehen, verbinden entfernte Punkte ebenso unvermittelt direkt miteinder. Hertz setzt also an Stelle der Fernwirkungen gewissermaßen Fernbedingungsgleichungen.

Brill hat versucht, die Hertzsche Methode auf Kontinua anzuwenden, und es gelang ihm auf diese Weise die Ableitung der Bewegungsgleichungen für inkompressible Flüssigkeiten. Man könnte nun nach Lord Kelvin die Natur aus

einem Wechselspiele von Wirbelringen oder sonstigen Bewegungserscheinungen in einer solchen Flüssigkeit erklären, in der auch starre Gebilde eingetaucht sein könnten. Man hätte dann in der Tat ein Bild der gesamten Erscheinungswelt ganz auf dem Boden der Hertzschen Mechanik gewonnen. Aber man sieht sofort, es wäre nicht gar viel von den alten phantastischen Weltbildern verschieden. Der Gewinn wäre bei weitem nicht so groß, als es die schöne philosophische Grundlage der Hertzschen Mechanik verspricht. Die letzte in einer anderen hypothesenfreieren Weise auszubauen, ist aber bisher nicht gelungen.

Verlocken die neuesten Ansichten über den Elektromagnetismus nur das Heil ausschließlich in der Wirkung von Volumelementen auf benachbarte zu suchen, so veranlaßten gerade auch wieder in neuester Zeit gewisse an Kathodenstrahlen und bei der Elektrolyse beobachtete Erscheinungen zur Annahme, daß selbst die Elektrizität eine atomistische Zusammensetzung hat, aus diskreten Elementen, den Elektronen, besteht. Man sieht also, die alte Kantsche Antinomie, der Gegensatz zwischen der Teilbarkeit der Materie ins Unendliche und ihrer atomistischen Konstitution, hält die Wissenschaft noch immer in Atem. Nur betrachten wir gegenwärtig beide Ansichten nicht als solche, die mit inneren logischen, aus den Denkgesetzen entspringenden Widersprüchen behaftet sind, sondern wir sehen in jeder ein von uns konstruiertes inneres Bild und fragen, welches Bild mit mehr Klarheit und Leichtigkeit ausgebaut werden kann, und mit der größten Korrektheit und einem Minimum von Unbestimmtheit die Gesetze der Erscheinungen wiedergibt.

Wenn wir nun zum Schlusse das Resultat unserer Betrachtungen resumieren, so können wir als solches bezeichnen, daß sich eine Seite aller Vorgänge der unbelebten und belebten Natur durch rein mechanische Bilder in einer Exaktheit darstellen, wie man sich ausdrückt, begreiflich machen läßt, wie es sonst in keiner anderen Weise bisher gelungen ist, während anderseits doch alle höheren Bestrebungen und Ideale keine Einbuße erleiden.

Und nun noch ein Wort an Sie, meine künftigen Schüler und studentische Kommilitionen! Seien Sie voll Idealismus und hoher Begeisterung in der Auffassung dessen, was

Ihnen in der Alma mater geboten wird, aber in der Verarbeitung seien Sie mechanisch, unermüdlich und gleichförmig fortarbeitend, wie Maschinen.

II. Antritts-Vorlesung.

Gehalten in Wien im Oktober 1902.

Meine Herren und Damen!

Man pflegt die Antrittsvorlesung stets mit einem Lobeshymnus auf seinen Vorgänger zu eröffnen. Diese hier und da beschwerliche Aufgabe kann ich mir heute ersparen, denn gelang es auch Napoleon dem Ersten nicht, sein eigener Urgroßvater zu sein, so bin doch ich gegenwärtig mein eigener Vorgänger. Ich kann also sofort auf die Behandlung meines eigentlichen Themas eingehen.

Nun, in der Abhaltung von Antrittsvorlesungen über die Prinzipien der Mechanik habe ich mir nachgerade eine gewisse Routine erworben. Schon die Vorlesung, mit der ich vor 33 Jahren in Graz meine Tätigkeit als ordentlicher Universitätsprofessor begann, behandelte dieses Thema. Seitdem eröffne ich in Wien am heutigen Tage zum 3. Male meine Vorlesungen mit der Betrachtung dieser Materie, dazu kommt einmal eine Antrittsvorlesung in München und einmal einer in Leipzig über denselben Gegenstand.

Er ist in der Tat bedeutend genug, daß man ihn so oft behandeln kann, ohne sich allzusehr zu wiederholen. Die Mechanik ist das Fundament, auf welches das ganze Gebäude der theoretischen Physik aufgebaut ist, die Wurzel, welcher alle übrigen Zweige dieser Wissenschaft entsprießen. Man begreift das, wenn man einerseits die historische Entwicklung der physikalischen Wissenschaften betrachtet, andererseits auch, wenn man deren logischen inneren Zusammenhang ins Auge faßt.

Mag sich die Wissenschaft noch so sehr der Idealität ihrer Ziele rühmen und auf die Technik und Praxis mit einer gewissen Geringschätzung herabschauen, es läßt sich doch nicht leugnen, daß sie ihren Ursprung in dem Streben nach der Befriedigung rein praktischer Bedürfnisse nahm. Anderer-

seits wäre der Siegeszug der heutigen Naturwissenschaft niemals ein so beispiellos glänzender gewesen, wenn dieselbe nicht an den Technikern so tüchtige Pioniere besäße.

Um die ersten Spuren mechanischer Tätigkeit des Menschen zu finden, müssen wir uns aus der heutigen Zeit, aus dem Zeitalter der Röntgenstrahlen und der Telegraphie ohne Draht in die allerersten Uranfänge menschlicher Kultur zurückversetzen. Das erste menschliche Werkzeug war der Knüttel. Ihn handhabt auch der Orang-Utang und zwar zu einem Zwecke, dem sich noch heute, wo wir uns so erhaben über ihn denken, ein Gutteil menschlichen Erfindungsgeistes und technischen Scharfsinns zuwendet. Wie soll ich diesen Zweck nennen? Menschenmord nennen ihn die Friedensfreunde; Einsetzen des höchsten Preises des Lebens für die edelsten Güter der Menschheit, für Ehre, Freiheit und Vaterland, nennen ihn die Soldaten.

Wie dem auch sei, jedenfalls müssen wir im Knüttel schon ein mechanisches Werkzeug, das erste Geschenk des erwachenden Sinnes für Technik erblicken. Als später die Kultur der Menschheit sich zu entwickeln begann, waren es nicht akustische oder optische Apparate, kalorische oder gar elektromagnetische Maschinen, was man zuerst erfand. Die Sache ging ein wenig langsamer. Das Bedürfnis, natürliche Höhlen besser zu verschließen, künstliche anzulegen, führte allmählich zum Bau von Wohnungen und Burgen. Die Notwendigkeit, zu diesem Zwecke wuchtige Steine oder kolossale Baumstämme herbeizuschaffen, reizte den Erfindungsgeist. Der Mensch rundete passend geformte Äste zu Walzen, baute später roh gezimmerte Räder, den Knüttel benutzte er als Hebel in der primitivsten Form und betrat so erst unbewußt, dann mit immer mehr Absicht und Bewußtsein, das Gebiet der Mechanik im engeren Sinne.

Hut ab vor diesen Erfindern in Bärenfällen und Schuhen aus Baumrinde. Der Mensch, der zuerst mittelst geschickt untergelegter Walzen einen Stein bewegt hat, dessen Wucht für immer den Riesenfäusten seiner Mitmenschen zu spotten schien, empfand sicher nicht geringere Genugtuung als Marconi, da er das erste durch die Luft über den Ozean geleitete Telegraphensignal vernahm, selbstverständlich unter der Vor-

aussetzung, daß alles wahr ist, was die Zeitungen hierüber berichten.

Aus so unscheinbaren Anfängen wuchs die Mechanik, anfangs unendlich langsam, aber doch stetig und später in immer rascherem Tempo empor. Schon Archimedes flößte das zu seinen Zeiten Erreichte solche Bewunderung ein, daß er sich die Welt aus den Angeln zu heben getraut hätte, wenn ihm nur ein fester Stützpunkt hätte geboten werden können. Nun, die heutigen Fortschritte der Technik haben zwar nicht die Erdkugel bewegt, aber die ganze soziale Ordnung, den ganzen Wandel und Verkehr der Menschheit haben sie in der Tat nahezu aus den Angeln gehoben.

Ja, die Fortschritte auf dem Gebiete der Naturwissenschaften haben sogar die ganze Denk- und Empfindungsweise der Menschheit vom Grund aus umgestaltet. Während das frühere humanistische Zeitalter in allem Beseeltes, Empfindendes erblickte, gewöhnen wir uns leider immer mehr, alles vom Standpunkte der Maschine zu betrachten. Früher durchschweifte der Fußwanderer singend Wald und Flur, und was konnte man in der Postkutsche besseres tun, als dichten und träumen, wenn nicht gerade der Ärger über die Langeweile überwog; jetzt wird im Expreßzug, im Ozeandampfer noch gearbeitet und gerechnet. Ehemals suchte der Kutscher durch Zureden in der Menschensprache den Sinn seines Gaules zu lenken; jetzt dirigiert man den Elektromotor oder das Automobil mit etlichen Kurbeln schweigend.

Und doch werden wir die Vorstellung der Beseeltheit der Natur nicht los. Die großen Maschinen von heute, arbeiten sie nicht wie bewußte Wesen? Sie schnauben und pusten, heulen und winseln, stoßen Klagelaute, Angst- und Warnungsrufe aus, bei Überschuß von Arbeitskraft pfeifen sie gellend. Sie nehmen die zur Erhaltung ihrer Kraft erforderlichen Stoffe aus der Umgebung auf und scheiden davon das Unbrauchbare wieder aus, genau denselben Gesetzen untertan wie unser eigener Körper.

Es hat für mich einen eigentümlichen Reiz, mir vorzustellen, wie die in den verschiedensten Gebieten bahnbrechenden Geister sich über das freuen würden, was ihre Nachfolger, vielfach auf ihren Schultern stehend, nach ihnen errungen haben, so z. B., was Mozart empfinden würde, wenn

er jetzt eine Meisteraufführung der 9. Simphonie oder des Parsifal anhören könnte. Ungefähr dasselbe müßten die großen griechischen Naturphilosophen, vor allem der mathematische Feuerkopf Archimedes zu den Leistungen unserer heutigen Technik sagen; an Begeisterung und Sinn für das Großartige würde es ihnen gewiß nicht fehlen. Bezeichnen wir doch noch heute den höchsten Grad der Begeisterung mit dem schönen griechischen Worte Enthusiasmus.

Doch ich bin ein wenig von meinem eigentlichen Gegenstande abgeirrt und muß wieder zu diesem zurückkehren.

Ich sprach bisher fortwährend von Maschinen und von Technik. Sie würden aber fehl gehen, wenn Sie erwarteten, daß ich Sie in meinen Vorlesungen in die Kunst des Maschinenbaues einweihen werde. Dies ist Sache der technischen Mechanik und Maschinenlehre; der Gegenstand meiner Vorlesungen aber wird die analytische Mechanik sein. Ihre Definition ist viel allgemeiner. Sie hat die Gesetze zu erforschen, nach denen sich die Gesamtheit der Bewegungserscheinungen in der uns umgebenden Natur abspielt.

Wir finden daselbst zunächst sehr viele Körper, welche eine, wenigstens soweit die Beobachtung geht, unveränderliche Gestalt haben. Ihre Bewegung ist also eine bloße Ortsveränderung und Drehung ohne jede Formänderung und die analytische Mechanik wird zunächst die Gesetze für diese Ortsveränderung anzugeben haben. Andere Körper, die Flüssigkeiten (tropfbare und gasförmige), ändern ihre Gestalt während der Bewegung fortwährend in der mannigfaltigsten Weise. Man kann sich nun ein anschauliches Bild dieser steten Gestaltänderungen machen, wenn man sich die Flüssigkeiten aus kleinsten Teilchen zusammengesetzt denkt, von denen sich jedes selbständig nach denselben Gesetzen wie die festen Körper bewegt, jedoch so, daß stets 2 benachbarte Teilchen der Flüssigkeit immer nahezu dieselbe Bewegung machen. Zu den Kräften, welche von außen auf jedes Teilchen wirken, sind noch die hinzuzunehmen, welche die verschiedenen Teilchen aufeinander ausüben. Auf diese Weise kann auch die Bewegung der Flüssigkeiten auf die Gesetze der Mechanik der festen Körper zurückgeführt werden.

Die Bewegungserscheinungen sind diejenigen, welche wir am häufigsten und unmittelbarsten beobachten. Alle anderen

Naturerscheinungen sind versteckter. Wir können auch die Bewegungserscheinungen mit der geringsten Summe von Begriffen erfassen. Wir reichen zu ihrer Beschreibung mit dem Begriffe des Ortes im Raume und der zeitlichen Veränderung desselben aus, wogegen wir bei den anderen Erscheinungen noch viel unklarere Begriffe, wie Temperatur, Lichtintensität und Farbe, elektrische Spannung usw., nötig haben.

Es ist nun überall die Aufgabe der Wissenschaft, das Kompliziertere aus dem Einfacheren zu erklären; oder, wenn man lieber will, durch Bilder, welche dem einfacheren Erscheinungsgebiete entnommen sind, anschaulich darzustellen. Daher suchte man auch in der Physik die übrigen Erscheinungen, die des Schalles, Lichtes, der Wärme, des Magnetismus und der Elektrizität auf bloße Bewegungserscheinungen der kleinsten Teilchen dieser Körper zurückzuführen, und zwar gelingt dies bei sehr vielen, freilich nicht bei allen Erscheinungen mit gutem Erfolge. Dadurch wurde eben die Wissenschaft der Bewegungserscheinungen, also die Mechanik, zur Wurzel der übrigen physikalischen Disziplinen, welche allmählich immer mehr und mehr sich in spezielle Kapitel der Mechanik zu verwandeln schienen.

Erst in neuerer Zeit ist dagegen eine Reaktion eingetreten. Die Schwierigkeiten, welche die rein mechanische Erklärung des Magnetismus und der Elektrizität bot, ließen Zweifel darüber aufkommen, ob alles mechanisch erklärbar sei und gerade der Elektromagnetismus gewann immer an Wichtigkeit nicht nur für die Praxis, sondern auch für die Theorie. Schließlich wurde seine Macht so groß, daß er sogar den Spieß umzukehren und die Mechanik elektromagnetisch zu erklären suchte. Während man früher Magnetismus und Elektrizität durch eine rotierende oder schwingende Bewegung der kleinsten Teile der Körper zu erklären versucht hatte, so ging man jetzt darauf aus, die Fundamentalgesetze der Bewegung der Körper selbst aus den Gesetzen des Elektromagnetismus abzuleiten.

Das bekannteste Gesetz der Mechanik ist das der Trägheit. Jeder Gymnasiast ist heutzutage damit vertraut, wobei ich natürlich bloß von der Trägheit im physikalischen Sinne spreche. Bis vor kurzem hielt man das Trägheitsgesetz für das erste Fundamentalgesetz der Natur, welches selbst un-

erklärbar ist, aber zur Erklärung aller Erscheinungen beigezogen werden muß. Nun folgt aber aus den Maxwellschen Gleichungen für den Elektromagnetismus, daß ein bewegtes elektrisches Partikelchen, ohne selbst Masse oder Trägheit zu besitzen, bloß durch die Wirkung des umgebenden Äthers sich genau so bewegen muß, als ob es träge Masse hätte. Man machte daher die Hypothese, daß die Körper keine träge Masse besitzen, sondern bloß aus massenlosen elektrischen Partikelchen, den Elektronen, bestehen, ihre Trägheit also eine bloß scheinbare, durch die Wirkung des umgebenden Äthers bei ihrer Bewegung durch denselben hervorgerufene sei. In ähnlicher Weise gelang es, auch die Wirkung der mechanischen Kräfte auf elektromagnetische Erscheinungen zurückzuführen. Während man also früher alle Erscheinungen durch die Wirkung von Mechanismen erklären wollte, so ist jetzt der Äther ein Mechanismus, der an sich freilich wieder vollkommen dunkel, die Wirkung aller Mechanismen erklären soll. Man wollte jetzt nicht mehr alles mechanisch erklären, sondern suchte vielmehr einen Mechanismus zur Erklärung aller Mechanismen.

Was heißt es nun, einen Mechanismus vollkommen richtig verstehen? Jedermann weiß, daß das praktische Kriterium dafür darin besteht, daß man ihn richtig zu behandeln weiß. Allein ich gehe weiter und behaupte, daß dies auch die einzig haltbare Definition des Verständnisses eines Mechanismus ist. Man wendet da freilich ein, daß es denkbar ist, daß eine Person die Behandlungsweise eines Mechanismus erlernt hat, ohne diesen selbst zu verstehen. Allein dieser Einwand ist nicht stichhaltig. Wir sagen bloß, sie versteht den Mechanismus nicht, weil ihre Kenntnis seiner Behandlungsweise auf dessen reguläre Tätigkeit beschränkt ist. Sobald am Mechanismus etwas gebrochen ist, schlecht funktioniert oder sonst eine unvorhergesehene Störung eintritt, weiß sie sich nicht mehr zu helfen. Daß er den Mechanismus verstehe dagegen, sagen wir von demjenigen, der auch in allen diesen Fällen das Richtige zu tun weiß. So scheint dieser Umstand wirklich die Definition des Verständnisses zu bilden. Wie wir die Begriffe bilden sollen, kann nicht definiert werden, ist auch

in der Tat vollkommen gleichgültig, wenn sie nur stets zur richtigen Handlungsweise führen.

So ist ein bekannter verlockender Fehlschluß der sogenannte Solipsismus, die Ansicht, daß die Welt nicht real, sondern ein bloßes Produkt unserer Phantasie, wie ein Traumgebilde sei. Auch ich hing dieser Schrulle nach, versäumte infolgedessen, praktisch richtig zu handeln, und kam dadurch zu Schaden; zu meiner größten Freude, denn ich erkannte darin den gesuchten Beweis der Existenz der Außenwelt, welcher allein darin bestehen kann, daß man minder zu richtigen Handlungen befähigt ist, wenn man diese Existenz in Zweifel zieht.

Als ich vor 33 Jahren meine schon besprochenen ersten Vorlesungen über Mechanik hielt, neckte mich einer meiner damaligen Grazer Kollegen, indem er sagte: „Wie kann man sich nur mit so etwas rein Mechanischem befassen.“ Er beabsichtigte natürlich bloß ein Wortspiel; ich aber saß ihm auf und ereiferte mich, darzutun, daß die Mechanik nichts Mechanisches sei; aber trotz ihrer Schwierigkeit, trotz des unendlichen Aufwandes von Scharfsinn, den durch Jahrhunderte hindurch die größten Gelehrten auf ihre Entwickelung verwendeten, hat es doch mit dem Mechanischen etwas auf sich.

Vom Begriffe der Trägheit habe ich schon gesprochen, ein 2. Grundbegriff der Mechanik ist der der Arbeit. Man könnte das wichtigste Gesetz der Mechanik ungefähr dahin aussprechen, daß die Natur alles mit einem Minimum von Arbeitsaufwand leistet. Wem kämen dabei nicht wieder triviale Nebengedanken? Ist der Arbeitsbegriff nicht für die Praxis ebenso der wichtigste und zugleich rätselvollste wie für die gesamte Naturwissenschaft? Schon das aus dem Paradiese vertriebene erste Menschenpaar sah in der Arbeit den höchsten Fluch, andererseits aber wäre der Mensch ohne Arbeit kein Mensch. Stetige unausgesetzte Arbeit hat der Mensch freilich mit dem Zugtier, ja sogar mit der leblosen, von ihm selbst fabrizierten Maschine gemein und doch wird Arbeitsamkeit als eine der schönsten Charaktereigenschaften eines jeden, vom Herrscher bis zum Tagelöhner, gepriesen.

Zum Schlusse möchte ich die Frage aufwerfen, ist die Menschheit durch alle Fortschritte der Kultur und Technik glücklicher geworden? In der Tat eine heikle Frage. Gewiß,

ein Mechanismus, die Menschen glücklich zu machen, ist noch nicht erfunden worden. Das Glück muß jeder in der eigenen Brust suchen und finden.

Aber schädliche, das Glück störende Einflüsse hinwegzuschaffen, gelang der Wissenschaft und Zivilisation, indem sie Blitzgefahr, Seuchen der Völker und Krankheiten der einzelnen in vielen Fällen erfolgreich zu bekämpfen wußte. Sie vermehrte ferner die Möglichkeit, das Glück zu finden, indem sie uns Mittel bot, unseren schönen Erdball leichter zu durchschweifen und kennen zu lernen, den Aufbau des Sternenhimmels uns lebhaft vorzustellen und die ewigen Gesetze des Naturganzen wenigstens dunkel zu ahnen. So ermöglicht sie der Menschheit eine immer weiter gehende Entfaltung ihrer Körper- und Geisteskräfte, eine immer wachsende Herrschaft über die gesamte übrige Natur und befähigt den, der den inneren Frieden gefunden hat, diesen in erhöhter Lebensentfaltung und größerer Vollkommenheit zu genießen.

Hochgeehrte Anwesende, ich habe die Aufgabe, Ihnen in den gegenwärtigen Vorlesungen gar Mannigfaltiges darzubieten: Verwickelte Lehrsätze, auf das höchste verfeinerte Begriffe, komplizierte Beweise. Entschuldigen Sie, wenn ich von alledem heute noch wenig geleistet habe. Ich habe nicht einmal, wie es sich geziemen würde, den Begriff meiner Wissenschaft, der theoretischen Physik, definiert, nicht einmal den Plan entwickelt, nach dem ich dieselbe in diesen Vorlesungen zu behandeln gedenke. Alles das wollte ich Ihnen heute nicht bieten, ich denke, daß wir später im Verlaufe der Arbeit besser darüber klar werden. Heute wollte ich Ihnen vielmehr nur ein Geringes bieten, für mich freilich auch wiederum alles, was ich habe, mich selbst, meine ganze Denk- und Empfindungsweise.

Ebenso werde ich auch im Verlaufe der Vorlesungen von Ihnen gar Mannigfaltiges fordern müssen: Angestrengte Aufmerksamkeit, eisernen Fleiß, unermüdliche Willenskraft. Aber verzeihen Sie mir, wenn ich, ehe ich an dieses alles gehe, Sie für mich um etwas bitte, woran mir am meisten gelegen ist, um Ihr Vertrauen, Ihre Zuneigung, Ihre Liebe, mit einem Worte, um das höchste, was Sie zu geben vermögen, Sie selbst.

18.

Ein Antrittsvortrag zur Naturphilosophie.[1])

Meine Damen und Herren![2])

Sie haben sich ungewöhnlich zahlreich zu den bescheidenen Eingangsworten eingefunden, die ich heute an Sie zu richten habe. Ich kann mir dies nur daraus erklären, daß meine gegenwärtigen Vorlesungen in der Tat in gewisser Beziehung ein Kuriosum im akademischen Leben sind, nicht durch Inhalt, nicht durch Form, aber durch begleitende Nebenumstände.

Ich habe nämlich bisher nur eine einzige Abhandlung philosophischen Inhalts geschrieben, und wurde hierzu durch einen Zufall veranlaßt. Ich debattierte einmal im Sitzungssaal der Akademie aufs lebhafteste über den unter den Physikern gerade wieder akut gewordenen Streit über den Wert der atomistischen Theorien mit einer Gruppe von Akademikern, unter denen sich Hofrat Professor Mach befand.

Ich bemerke bei dieser Gelegenheit, daß ich in der Tätigkeit, die mit meiner heutigen Vorlesung beginnt, in gewisser Hinsicht Nachfolger Hofrat Machs bin, und mir eigentlich die Pflicht obgelegen hätte, die Vorlesung mit seiner Ehrung zu beginnen. Ich glaube aber, ihn besonders zu loben, hieße Ihnen gegenüber Eulen nach Athen tragen, und nicht bloß

---

1) Aus der „Zeit" 11. Dez. 1903.

2) Da sich von meiner ersten Vorlesung über Naturphilosophie (gehalten am 26. Oktober) teilweise infolge mißlungener Zeitungsreferate offenbar ganz falsche Ansichten verbreitet haben, so folge ich gern der Aufforderung der Redaktion der „Zeit", sie zu veröffentlichen. Da die Vorlesung vollkommen frei gehalten wurde, kann ich nicht den Wortlaut, wohl aber unbedingt den Sinn verbürgen.

Ihnen gegenüber, sondern jedem Österreicher, ja allen Gebildeten der Welt gegenüber.

Mach hat selbst in so geistreicher Weise ausgeführt, daß keine Theorie absolut wahr, aber auch kaum eine absolut falsch ist, daß vielmehr jede Theorie allmählich vervollkommnet werden muß, wie die Organismen nach der Lehre Darwins. Dadurch, daß sie heftig bekämpft wird, fällt das Unzweckmäßige allmählich von ihr ab, während das Zweckmäßige bleibt, und so glaube ich, Prof. Mach am besten zu ehren, wenn ich in dieser Weise zur Weiterentwicklung seiner Ideen, soweit es in meinen Kräften steht, das Meinige beitrage.

In jener Gruppe von Akademikern sagte bei der Debatte über die Atomistik Mach plötzlich lakonisch: „Ich glaube nicht, daß die Atome existieren.“ Dieser Ausspruch ging mir im Kopf herum.

Es war mir klar, daß wir Gruppen von Wahrnehmungen zu Vorstellungen von Gegenständen vereinen, wie zu der eines Tisches, eines Hundes, eines Menschen usw. Wir haben auch Erinnerungsbilder an diese Vorstellungsgruppen. Wenn wir uns neue Vorstellungsgruppen bilden, die diesen Erinnerungsbildern ganz analog sind, so hat die Frage einen Sinn, ob den entsprechenden Gegenständen eine Existenz zukommt oder nicht. Wir haben da gewissermaßen einen genauen Maßstab für den Existenzbegriff. Wir wissen genau, was die Frage bedeutet, ob der Vogel Greif, das Einhorn, ein Bruder von mir existiert. Wenn wir dagegen ganz neue Vorstellungen bilden, wie die des Raumes, der Zeit, der Atome, der Seele, ja selbst Gottes, weiß man da, fragte ich mich, überhaupt, was man darunter versteht, wenn man nach der Existenz dieser Dinge fragt? Ist es da nicht das einzig richtige, sich klar zu werden, was man mit der Frage nach der Existenz dieser Dinge überhaupt für einen Begriff verbindet?

Diskussionen dieser Art bildeten den Gegenstand meiner einzigen Abhandlung aus dem Gebiete der Philosophie. Sie sehen, diese war wohl echt philosophisch; abstrus genug mindestens, um diesen Namen zu verdienen. Außer ihr habe ich nichts auf diesem Gebiete publiziert. Nun, das möchte noch hingehen; wenn man recht boshaft sein wollte, könnte man sagen, daß hier und da schon jemand an einer Uni-

versität gelehrt hat, der noch um eine, der Publikation würdige Arbeit weniger über sein Fach geschrieben hat.

Jedenfalls aber muß es mich mit der größten Bescheidenheit erfüllen. Man sagt, wem Gott ein Amt gibt, dem gibt er auch den Verstand. Anders das Ministerium; dieses kann zwar den Lehrauftrag, den Gehalt, aber niemals den Verstand geben; für letzteren fällt die Verantwortung allein auf mich.

Nicht bloß bei Verfassung meiner einzigen Abhandlung, auch sonst grübelte ich oft über das enorme Wissensgebiet der Philosophie. Unendlich scheint es mir und meine Kraft schwach. Ein Menschenleben wäre nur wenig, um einige Erfolge auf demselben zu erringen; die unermüdete Tätigkeit eines Lehrers von der Jugend bis zum Alter unzureireichend, sie der Nachwelt zu übermitteln, und mir soll dies Nebenbeschäftigung neben einem anderen allein die ganze Kraft erfordernden Lehrgegenstand sein?

Schiller sagt: „Es wächst der Mensch mit seinen Zwecken.“ Lieber guter Schiller! ach, ich finde, es wächst der Mensch nicht mit seinen höheren Zwecken.

Als ich Bedenken trug, diese schwere Last auf mich zu nehmen, sagte man mir, ein anderer würde es auch nicht besser machen. Wie arm erscheint mir dieser Trost in dem Augenblick, wo ich die Last heben soll.

Und doch, was mich niederdrückt, soll es mich nicht wieder aufrichten? Wenn ich, der ich mich so wenig mit Philosophie beschäftigt habe, als der würdigste befunden wurde, sie vorzutragen, ist das nicht doppelt ehrenvoll für mich?

Wenn es für den Professor der Medizin oder der Technik wünschenswert ist, daß er, um nicht zu verknöchern, neben seiner Lehrtätigkeit auch fortwährend Praxis betreibe, ja, wenn man Moltke zum Mitglied der historischen Klasse der Berliner Akademie wählte, nicht weil er Geschichte schrieb, sondern weil er Geschichte machte, vielleicht wählte man auch mich, nicht weil ich über Logik schrieb, sondern weil ich einer Wissenschaft angehöre, bei der man zur täglichen Praxis in der schärfsten Logik die beste Gelegenheit hat.

Bin ich nur mit Zögern dem Rufe gefolgt, mich in die Philosophie hineinzumischen, so mischten sich desto öfter

Philosophen in die Naturwissenschaft hinein. Bereits vor langer Zeit kamen sie mir ins Gehege. Ich verstand nicht einmal, was sie meinten, und wollte mich daher über die Grundlehren aller Philosophie besser informieren.

Um gleich aus den tiefsten Tiefen zu schöpfen, griff ich nach Hegel; aber welch unklaren, gedankenlosen Wortschwall sollte ich da finden! Mein Unstern führte mich von Hegel zu Schopenhauer. In der Vorrede des ersten Werkes des letzteren, das mir in die Hände fiel, fand ich folgenden Passus, den ich hier wörtlich verlesen will: „Die deutsche Philosophie steht da mit Verachtung beladen, vom Ausland verspottet, von der redlichen Wissenschaft ausgestoßen gleich einer . . . . .“ Den folgenden Passus unterdrücke ich im Hinblick auf die anwesenden Damen. „. . . Die Köpfe der jetzigen gelehrten Generation sind desorganisiert durch Hegelschen Unsinn. Zum Denken unfähig, roh und betäubt, werden sie die Beute des platten Materialismus, der aus des Basiliskenei hervorgekrochen ist.“ Damit war ich nun freilich einverstanden, nur fand ich, daß Schopenhauer seine eigenen Keulenschläge ganz wohl auch selbst verdient hätte.

Allein auch Herbarts Rechnungen über Erscheinungen der Psychologie schienen mir eine Persiflage auf die analogen Rechnungen in den exakten Wissenschaften. Ja, selbst bei Kant konnte ich verschiedenes so wenig begreifen, daß ich bei dessen sonstigem Scharfsinn fast vermutete, daß er den Leser zum besten haben wolle oder gar heuchle. So entwickelte sich damals in mir ein Widerwille, ja Haß gegen die Philosophie. Im Hinblick auf diese alten philosophischen Systeme möchte ich fast sagen, daß man in mir den Bock zum Gärtner gemacht hat. Oder hat man mir gerade diesen Lehrauftrag erteilt, wie man einen alten Demokraten zum Hofrat ernennt, damit er vollends aus einem Saulus zum Paulus werde? Ich fürchte, zwischen Bock und Hofrat werde ich in diesen Vorlesungen hin- und herschwanken, und wenn ich auch nie in den Stil, wovon ich eben eine Probe vorlas, zu verfallen hoffe, so werde ich vielleicht doch hier und da etwas derb nach der Machschen Methode an der Vervollkommnung philosophischer Systeme arbeiten.

Mein Widerwille gegen die Philosophie wurde übrigens damals fast von allen Naturforschern geteilt. Man verfolgte

jede metaphysische Richtung und suchte sie mit Stumpf und Stiel auszurotten; doch diese Gesinnung dauerte nicht an. Die Metaphysik scheint einen unwiderstehlichen Zauber auf den Menschengeist auszuüben, der durch alle mißlungenen Versuche, ihren Schleier zu heben, nicht an Macht einbüßt. Der Trieb, zu philosophieren, scheint uns unausrottbar angeboren zu sein. Nicht bloß Robert Mayer, der ja durch und durch Philosoph war, auch Maxwell, Helmholtz, Kirchhoff, Ostwald und viele andere opferten ihr willig und erkannten ihre Fragen als die höchsten an, so daß sie heute wieder als die Königin der Wissenschaften dasteht.

Schon ein Mann, welcher an der Wiege der induktiven Wissenschaft stand, Roger Bacon von Verulam, nennt sie eine gottgeweihte Jungfrau; freilich fügt er dann gleich wieder malitiös bei, daß sie gerade dieser hohen Eigenschaft wegen ewig unfruchtbar bleiben müsse. Unfruchtbar sind allerdings viele Untersuchungen auf metaphysischem Gebiete geblieben, aber wir wollen doch die Probe machen, ob jede Spekulation auch wirklich unfruchtbar sein müsse. Schon am Eingang zu unserer Tätigkeit finden wir eine große Schwierigkeit, die, den Begriff der Philosophie festzustellen. (Hier geht der Vortragende die wichtigsten bisher gebräuchlichen Definitionen der Philosophie durch, von denen ihm jede unhaltbar scheint. Hierauf fährt er fort:) Bei so schwierigen Dingen kommt es zunächst auf die richtige Fragestellung an. Wir wollen daher vorerst die Frage selbst genauer analysieren. Man kann sie in den folgenden verschiedenen Formen stellen: 1. Wie wurde die Philosophie von den verschiedenen Philosophen definiert? 2. Welche Definition würde dem allgemeinen Sprachgebrach am besten entsprechen? 3. Welche scheint mir am zweckmäßigsten? 4. Wie will ich ohne Rücksicht darauf, wie es andere taten, ob es dem Sprachgebrauche entspricht, ob es zweckmäßig ist, einem unwiderstehlichen Zwange gemäß den Begriff der Philosophie fassen? Wie drängt mich mein inneres Gefühl, jede Faser meines Denkens, die Frage zu lösen? Wir können jede dieser Fragen wieder in mehrere spalten und analysieren. Absolute Gründlichkeit würde auch dann noch nicht erreicht. Aber wir setzen die Analyse nicht weiter fort, weil wir uns jetzt passabel zu verstehen glauben.

Ich will nun die Frage im letzteren Sinne beantworten: Welche Definition der Philosophie drängt sich mir mit innerem unwiderstehlichem Zwange auf? Da empfand ich stets wie einen drückenden Alp das Gefühl, daß es ein unauflösbares Rätsel sei, wie ich überhaupt existieren könne, daß eine Welt existieren könne, und warum sie gerade so und nicht irgendwie anders sei. Die Wissenschaft, der es gelänge, dieses Rätsel zu lösen, schien mir die größte, die wahre Königin der Wissenschaften, und diese nannte ich Philosophie.

Ich gewann immer mehr an Naturkenntnis, ich nahm die Darwinsche Lehre in mich auf und ersah daraus, daß es eigentlich verfehlt ist, so zu fragen, daß es auf diese Frage keine Antwort gibt; aber die Frage kehrte immer mit gleicher zwingender Gewalt wieder. Wenn sie unberechtigt ist, warum läßt sie sich dann nicht abweisen? Daran knüpfen sich unzählige andere: Wenn es hinter den Wahrnehmungen noch etwas gibt, wie können wir auch nur zur Vermutung davon gelangen?[1]) Wenn es nichts dahinter gibt, würde dann eine Marslandschaft oder die eines Sirius-Trabanten wirklich nicht existieren, wenn kein belebtes Wesen je imstande ist, sie wahrzunehmen? Wenn alle diese Fragen sinnlos sind, warum können wir sie nicht abweisen, oder was müssen wir tun, damit sie endlich zum Schweigen gebracht werden? Licht in diesen Fragen wenigstens zu suchen, soll die Aufgabe meiner gegenwärtigen Vorlesungen sein.

Ich habe bisher keine Ahnung, wo es zu finden ist, ich lebe daher in einer wahren Faust-Stimmung. Dieser sagt ja auch: „Ich soll lehren mit sauerm Schweiß, was ich selbst nicht weiß.“ Ich will es auch nicht lehren, sondern bloß alles zusammensuchen, was dazu beitragen kann, langsam und langsam Licht in dieses Dunkel zu bringen und Sie dazu anregen, in gemeinsamer Arbeit mit mir das beste zu tun, um die Erreichung dieses Zieles zu fördern.

Meine Methode vorzutragen, mag manchem absonderlich erscheinen, vielleicht ist sie doch echt akademisch. Der akademische Vortrag im höchsten Sinne des Wortes hat ja weniger den Zweck, fertige Lösungen von Problemen zu leh-

1) Auf die Notwendigkeit, daß neben den Wahrnehmungen auch der Trieb, Objekte zu denken, gegeben sein muß, wies, wenn ich ihn recht verstand, der früher gelästerte Schopenhauer hin.

ren, als vielmehr Probleme zu stellen und die Anregung zu ihrer Lösung zu geben. Wir werden daher die verschiedenen Grundbegriffe aller Wissenschaften durchgehen und alle mit Rücksicht auf dieses vorgesteckte Ziel betrachten, sub specie philosophandi.

Schon der Titel, den ich meinen gegenwärtigen Vorlesungen gab, ist ein Stein des Anstoßes. Dieser ist nämlich die wörtliche Übersetzung des Titels des ersten und größten Werkes, das über theoretische Physik geschrieben wurde, den principia philosophiae naturalis von Newton. Würde ich ihn im selben Sinne wie Newton verstehen, so müßte ich einen Grundriß der theoretischen Physik vortragen. Ich habe diesen Titel nur gewählt, um Ihnen zu zeigen, wie wenig der Philosoph an Worten kleben darf. Die Worte sind genau dieselben, aber wir verstehen darunter heute etwas total anderes, als Newton zu seiner Zeit und die konservativen Engländer teilweise noch heute.

Ich eile nun zum Schlusse. Ich gab meiner ersten Vorlesung in Wien einen Schluß, der mir besonders gefiel, nicht seines Inhalts, nicht seiner Form wegen, sondern weil er gerade das ausdrückte, was mir am Herzen lag; nicht weil er geistreich gemacht war, sondern weil er nicht gemacht war. Ich empfinde heute genau wieder dasselbe und kann es daher nicht anders als wieder mit denselben Worten ausdrücken: Ich sagte damals: „Meine Damen und Herren: Vieles ist es, was ich Ihnen in diesen Vorlesungen darbieten soll, komplizierte Lehrsätze, verwickelte Schlußfolgerungen, schwer zu erfassende Beweise. Verzeihen Sie, wenn ich von alledem Ihnen heute noch nichts bot. Ich wollte Ihnen heute nur weniges geben, freilich alles, was ich habe, meine ganze Denk- und Sinnesweise, mein innerstes Gemüt, mit einem Worte, mich selbst.

Ich werde auch im Verlaufe der Vorlesungen viel von Ihnen fordern müssen: angestrengten Fleiß, gespannte Aufmerksamkeit, unermüdliche Arbeit. Aber heute will ich Sie um etwas ganz anderes bitten: um Ihr Vertrauen, Ihre Zuneigung, Ihre Liebe, mit einem Worte, um das beste, was Sie haben, Sie selbst.“ Diese Worte von damals sollen auch heute den Schluß meiner Rede an Sie bilden.

19.

Über statistische Mechanik.[1])

Hochansehnliche Versammlung!

Mein gegenwärtiger Vortrag ist unter der Rubrik „angewandte Mathematik“ eingereiht worden, während meine Tätigkeit als Lehrer und Forscher, der Wissenschaft der Physik gewidmet ist. Der gewaltige Riß, welcher die letztere Wissenschaft in zwei getrennte Lager spaltet, ist kaum irgendwo schärfer präzisiert worden, als bei der Einteilung des Vortragsstoffes für diesen wissenschaftlichen Kongreß, welcher ein so enorm ausgedehntes Material zu bewältigen hatte, daß er gewissermaßen als eine Flut, oder um den Lokalton zu wahren, als ein Niagarafall wissenschaftlicher Vorträge bezeichnet werden kann. — Ich spreche da von der Zweiteilung in die theoretische und experimentelle Physik. Während ich als Vertreter der theoretischen Physik unter A. normativ science eingereiht worden bin, erscheint die experimentelle Physik erst viel später unter C. physical science. Dazwischen liegt Geschichte, Sprachwissenschaft, Literatur-, Kunst- und Religionswissenschaft. Über all das hinweg muß der theoretische Physiker dem Experimentalphysiker die Hand reichen. Wir werden die Frage nach der Berechtigung dieser Zweiteilung der Wissenschaft überhaupt und der Physik insbesondere in eine theoretische und experimentelle daher nicht völlig umgehen können.

Hören wir hierüber zunächst einen Forscher aus einer Zeit, wo die Naturwissenschaft noch wenig über ihre ersten Anfänge hinausgewachsen war, Immanuel Kant. Derselbe

---

1) Vortrag gehalten beim wissenschaftlichen Kongreß in St. Louis, 1904.

verlangt von jeder Wissenschaft, daß sie aus einheitlichen Prinzipien, aus festgefügten Theorien streng logisch entwickelt werde. Die Naturwissenschaft gilt ihm kaum weiter als eine vollwertige Wissenschaft, als insoweit sie auf mathematischer Grundlage aufgebaut ist. So zählt er die Chemie seinerzeit gar nicht zu den Wissenschaften, weil sie bloß auf rein empirischer Grundlage beruhe und eines einheitlichen regulativen Prinzips entbehre.

Von diesem Standpunkte betrachtet, würde die theoretische Physik bevorzugt der experimentellen gegenüberstehen, gewissermaßen den höheren Rang einnehmen. Die experimentelle hätte bloß die Bausteine zusammenzutragen, wogegen es der theoretischen zukäme, daraus das Gebäude aufzuführen.

Anders jedoch fällt diese Reihenfolge in der Rangordnung aus, wenn wir die Errungenschaften innerhalb der letzten Dezennien ins Auge fassen, sowie die Fortschritte, welche etwa in der nächsten Zeit zu erwarten sind. Die Kette der experimentellen Entdeckungen des vorigen Jahrhunderts erhielt mit der Auffindung der Röntgenstrahlen einen würdigen Abschluß. Diesen schließt sich im jetzigen Jahrhundert ein wahres Füllhorn von neuen Strahlen mit den rätselhaftesten in unsere ganze Naturanschauung aufs tiefste eingreifenden Eigenschaften an. Die Enthüllung solcher völlig neuer Tatsachen verspricht um so größere künftige Erfolge, je rätselhafter und den bisherigen Anschauungen widersprechender anfangs alles scheint. Die Besprechung dieser experimentellen Erfolge ist jedoch hier nicht meine Sache. Ich muß vielmehr die dankbare Aufgabe der Schilderung aller Früchte, welche auf diesem Gebiete bisher, man könnte sagen, fast täglich eingeheimst worden sind, und welche noch zu erwarten stehen, den Vertretern der experimentellen Physik auf diesem Kongresse überlassen.

In einer gleich glücklichen Lage befindet sich der Vertreter der theoretischen Physik keineswegs. Auch auf diesem Gebiete herrscht augenblicklich volle Regsamkeit. Man könnte fast sagen, es ist in Umwälzung begriffen. Allein wie wenig greifbar sind die hier erzielten Resultate gegenüber den experimentellen! Es zeigt sich da wohl, wie in gewissem Sinne dem Experimente der Vorrang gegenüber aller Theorie zu-

kommt. Eine unmittelbare Tatsache ist sofort begreiflich. Ihre Früchte können in der kürzesten Frist zutage treten, wie die verschiedenen Anwendungen der Röntgenstrahlen, wie die Benutzung der Hertzschen Wellen zur Telegraphie ohne Draht. Der Kampf der Theorien dagegen ist ein unendlich langwieriger, ja fast scheint es, als ob gewisse Streitfragen, die so alt sind, wie die Wissenschaft, auch so lange fort leben sollten, wie diese.

Jede sicher festgestellte Tatsache bleibt für immer unabänderlich; sie kann höchstens erweitert, ergänzt werden, es können neue hinzukommen; aber sie kann nicht vollkommen umgestoßen werden. Daher erklärt es sich, daß die Entwicklung der experimentellen Physik kontinuierlich fortschreitet, niemals allzu plötzliche Sprünge macht, daß sie niemals von großen Umwälzungen und Erschütterungen heimgesucht wird. Nur in seltenen Fällen kommt es vor, daß man etwas für eine Tatsache hält, was sich hinterher als Irrtum herausstellt, und auch in diesen Fällen wird die Aufklärung der Irrtümer rasch erfolgen und nicht von großem Einflusse auf das gesamte Gebäude der Wissenschaft sein.

Es wird freilich mit großem Nachdrucke betont, daß auch jede erschlossene und logisch als notwendig erkannte Wahrheit unumstößlich fortbestehen bleiben muß. Allein, wenn dies auch kaum angezweifelt werden kann, so lehrt doch die Erfahrung, daß das Gebäude unserer Theorien keineswegs aus lauter solchen logisch unumstößlich begründeten Wahrheiten aufgebaut ist. Dieses setzt sich vielmehr aus vielfach willkürlichen Bildern des Zusammenhangs der Erscheinungen, aus sogenannten Hypothesen zusammen.

Ohne ein, wenn auch geringes Hinausgehen über das direkt wahrgenommene gibt es keine Theorie, ja nicht einmal eine übersichtlich zusammenfassende zur Vorhersagung künftiger Erscheinungen taugliche Beschreibung der Naturtatsachen. Es gilt dies ebensowohl von den alten Theorien, denen jetzt vielfach der Boden streitig gemacht wird, als auch von den modernsten, welche sich einer großen Illusion hingeben, wenn sie sich hypothesenfrei dünken.

Freilich kann man die Hypothesen sehr unbestimmt halten, oder gar in die Form von mathematischen Formeln, oder einem solchen äquivalenten Gedankenausdruck durch

Worte fassen. Dann kann die Übereinstimmung mit dem gegebenen Schritt für Schritt kontrolliert werden; ein gänzlicher Umsturz des bisher gebauten wird zwar auch dann nicht absolut ausgeschlossen sein, wie wenn sich das Gesetz der Erhaltung der Energie doch noch als falsch herausstellen würde. Aber ein solcher Umsturz wird doch äußerst selten hier und da bis zur Undenkbarkeit unwahrscheinlich sein.

Eine derartige unbestimmt gehaltene, wenig spezialisierte Theorie wird wohl als wertvoller Leitfaden bei Experimenten dienen können, welche zur detaillierten Ausarbeitung schon gewonnener Kenntnisse angestellt werden und sich in bereits geebneten Bahnen bewegen; allein hierüber hinaus geht ihre Brauchbarkeit nicht.

Im Gegensatz hierzu werden Hypothesen, welche der Phantasie einigen Spielraum lassen und kühner über das vorliegende Materiale hinausgehen, stete Anregung zu neuartigen Versuchen geben und so Pfadfinder zu völlig ungeahnten Entdeckungen werden. Freilich wird eine solche Theorie naturgemäß dem Wandel unterworfen sein, und es wird vorkommen, daß ein kompliziertes Lehrgebäude zusammenstürzt und durch ein neues ersetzt wird, welches mehr leistet, wobei freilich dann die alte Theorie als Bild für ein beschränktes Erscheinungsgebiet im Rahmen der neuen in der Regel noch Platz findet, wie die Emissionstheorie behufs Beschreibung der Erscheinungen der Katoptrik und Dioptrik, die Hypothese des elastischen Lichtäthers behufs Darstellung der Interferenz- und Beugungserscheinungen, die Lehre von den elektrischen Fluidis zur Beschreibung der elektrostatischen Erscheinungen.

Von mächtigen Umwälzungen dürften übrigens die Theorien, welche sich stolz als hypothesenfrei bezeichnen, auch nicht verschont bleiben; so wird es wohl niemandem zweifelhaft sein, daß die unter dem Namen der Energetik bekannte Theorie ihre Einkleidung vollkommen verändern muß, wenn sie anders fortbestehen will.

Man hat den physikalischen Hypothesen den Vorwurf gemacht, daß sie sich unter Umständen als schädlich erwiesen und den Fortschritt der Wissenschaft gehemmt hätten. Dieser Vorwurf basiert hauptsächlich auf der Rolle, welche

die Hypothese der elektrischen Fluida in der Entwicklung der Elektrizitätslehre gespielt hat. Diese Hypothese wurde durch Wilhelm Weber zu hoher Vollendung gebracht, und die allgemeine Anerkennung, welche dessen Arbeiten in Deutschland fanden, stand dort in der Tat dem Studium der Maxwellschen Lehre im Wege. Ähnlich, wie schon Newtons Emanationstheorie der Anerkennung der Undulationstheorie im Wege stand. Derartige Übelstände werden sich auch in Hinkunft kaum ganz vermeiden lassen. Man wird immer bestrebt sein, die gerade herrschende Ansicht möglichst zu vervollkommnen und in sich abzuschließen. Wenn dann eine derartige in sich übereinstimmende Theorie nirgends auf einen Widerstand mit der Erfahrung stößt, gleichgültig, ob sie aus mechanischen Bildern, aus geometrischen Veranschaulichungen oder aus einem mathematischen Formelapparate besteht. Es wird immer möglich sein, daß eine neue noch nicht an der Erfahrung geprüfte Theorie auftritt, welche ein weit größeres, aber noch unbekanntes Erscheinungsgebiet darstellt. Dann wird die alte Theorie solange die meisten Anhänger zählen, bis jenes Erscheinungsgebiet dem Experimente zugänglich gemacht wird und entscheidende Stichproben die Überlegenheit der neuen Theorie außer Zweifel setzen. Es ist gewiß nützlich, wenn die Webersche Theorie für immer als warnendes Beispiel aufgestellt wird, daß man sich die nötige Beweglichkeit des Geistes stets wahren soll. Die Verdienste Webers aber werden dadurch sicher nicht geschmälert werden, von dessen Theorie ja Maxwell selbst mit der größten Bewunderung spricht. Ja, auch gegen die Nützlichkeit der Hypothesen kann dieser Fall nicht ins Feld geführt werden, da auch die Maxwellsche Theorie anfangs des hypothetischen nicht weniger, als irgendeine andere enthielt und erst, nachdem sie allgemein anerkannt war, durch Hertz, Poynting und andere mehr davon befreit wurde.

Von den Gegnern der Hypothesen in der Physik wurde auch der Vorwurf erhoben, daß die Schöpfung und Weiterentwicklung verschiedener mathematischer Methoden zum Behufe der Berechnung hypothetischer Molekularbewegungen unnütz oder gar schädlich gewesen sei. Diesen Vorwurf kann ich nicht als berechtigt anerkennen. Wäre er es, so

müßte auch die Wahl meines gegenwärtigen Vortragsthemas als eine verfehlte bezeichnet werden, und dieser Umstand mag es entschuldigen, daß ich mich hier nochmals über das vielbehandelte Thema des Gebrauchs der Hypothesen in der Physik verbreitet habe und diesen zu rechtfertigen suchte.

Ich habe nämlich zum Gegenstande meines heutigen Vortrages nicht die gesamte Entwicklung der physikalischen Theorie gewählt. Ich hatte diesen Gegenstand vor einigen Jahren auf der deutschen Naturforscherversammlung in München behandelt, und obwohl seitdem sich wieder so manches ereignet hat, so hätte ich mich doch jetzt vielfach wiederholen müssen. Zudem ist auch derjenige, der selbst ausgesprochen einer bestimmten Partei angehört, weniger imstande, die übrigen Parteien vollkommen objektiv zu beurteilen. Ich spreche da nicht von einer Kritik ihres Wertes, mein Vortrag soll niemals kritisierend, sondern nur berichtend sein. Auch bin ich vom Werte der Ansichten meiner Gegner überzeugt und trete nur abwehrend auf, wenn sie den Nutzen der meinigen verkleinern wollen. Aber gerade einen vollkommen sachgemäßen Bericht, eine Aufdeckung des Ineinandergreifens aller Gedankenfäden kann man schwerlich ebenso von der Ansicht eines anderen, wie von der eigenen geben.

Ich will daher als Endziel meines heutigen Vortrages nicht allein die kinetische Molekulartheorie, sondern noch überdies einen weitgehend spezialisierten Zweig derselben wählen. Weit davon entfernt in Abrede zu stellen, daß derselbe Hypothetisches enthält, muß ich ihn vielmehr als ein kühn über die reinen Beobachtungstatsachen hinausgehendes Bild bezeichnen. Und dennoch halte ich ihn nicht für unwürdig, an dieser Stelle vorgebracht zu werden; so weit geht mein Vertrauen auf die Nützlichkeit der Hypothesen, sobald diese gewisse Eigentümlichkeiten der beobachteten Tatsachen in einem neuen Lichte darstellen und Beziehungen zwischen denselben mit einer Klarheit veranschaulichen, welche durch keine anderen Mittel erreichbar ist. Freilich werden wir immer des Umstandes eingedenk bleiben müssen, daß es Hypothesen sind, der steten Fortbildung fähig und bedürftig und dann, aber erst dann aufzugeben, wenn alle Beziehungen,

welche sie darstellen, auch in anderer noch klarerer Weise verstanden werden können.

Zu den Fragen, die ich oben erwähnt habe, welche so alt sind, wie die Naturwissenschaft selbst, ohne bisher eine Lösung gefunden zu haben, gehört die, ob die Materie kontinuierlich, oder ob sie aus diskreten Bestandteilen, (aus sehr vielen, aber doch nicht im mathematischen Sinne unendlich vielen Individuen) zusammengesetzt zu denken ist. Es ist dies eine der schwierigen Fragen, welche das Grenzgebiet der Philosophie und Physik bilden.

Noch vor wenigen Dezennien hatten die Naturforscher eine große Scheu davor, sich in die Diskussion solcher Fragen zu vertiefen. Gerade die vorliegende ist für die Naturwissenschaft zu aktuell, als daß man ihr ganz hätte aus dem Wege gehen können; aber man kann sie nicht diskutieren, ohne zugleich noch tiefer liegende zu berühren, wie die nach dem Wesen des Kausalgesetzes, der Materie, der Kraft usw. Diese letzteren sind es, von denen man damals zu sagen pflegte, sie kümmern den Naturforscher nicht, sie seien ganz der Philosophie zu überweisen. Heutzutage ist das wesentlich anders geworden; es zeigt sich bei den Naturforschern sogar eine große Vorliebe, philosophische Gegenstände zu behandeln, und wohl mit Recht. Eine der ersten Regeln der Naturforschung ist es ja, niemals blindlings dem Instrumente, mit dem man arbeitet, zu trauen; sondern es nach allen Seiten zu prüfen. Wie sollten wir da den uns angeborenen oder historisch entwickelten Begriffen und Meinungen blindlings vertrauen, um so mehr, als schon Beispiele genug vorliegen, wo sie uns in die Irre führten? Wenn wir aber einmal die einfachsten Elemente prüfen, wo wäre da die Grenze zwischen Naturforschung und Philosophie, an der wir Halt machen sollten?

Ich hoffe, daß es mir keiner der etwa anwesenden Philosophen übelnehmen, oder darin einen Vorwurf erblicken wird, wenn ich freimütig sage, daß man mit der Zuweisung dieser Fragen an die Philosophie vielleicht auch schlechte Erfahrungen gemacht hat. Die Philosophie hat die Klärung dieser Fragen auffallend wenig gefördert, und sie konnte es allein und von ihrem einseitigen Standpunkte aus so wenig, als die Naturwissenschaft allein es vermag. Wenn wirkliche Fortschritte

möglich sind, so sind sie nur vom Zusammenwirken beider Wissenschaften zu erwarten. Daher möge man verzeihen, wenn ich als Nichtfachmann diese Fragen streife; ihr Zusammenhang mit dem Endziele meines Vortrages ist ja ein zu inniger.

Suchen wir uns bei dem berühmten Denker, den ich schon einmal zitiert habe, bei Immanuel Kant über die besprochene Frage Rat zu holen, ob die Materie kontinuierlich oder atomistisch zusammengesetzt ist. Sie wird von diesem in seinen Antinomien behandelt. Von allen dort zusammengestellten Fragen führt er aus, daß sich sowohl das pro als auch das contra streng logisch beweisen läßt. Es läßt sich strenge beweisen, daß die Teilbarkeit der Materie keine Grenze haben kann, und doch widerspricht eine ins unendliche gehende Teilbarkeit den Gesetzen der Logik. Ebenso setzt Kant in den Antinomien auseinander, daß ein Anfang und ein Ende der Zeit eine Grenze, wo der Raum aufhört, ebenso undenkbar ist, wie absolut unendliche Dauer, absolut unendliche Ausdehnung.

Dies ist keineswegs die einzige Gelegenheit, wo das philosophische Denken sich in Widersprüche verwickelt, vielmehr begegnet man solchen Schritt für Schritt. Die landläufigsten Dinge sind der Philosophie die Quelle unauflösbarer Rätsel. Zur Erklärung unserer Wahrnehmungen konstruiert sie den Begriff der Materie und findet diese dann vollständig untauglich, selbst Wahrnehmungen zu haben, oder in einem Geiste Wahrnehmungen zu erzeugen. Mit unendlichem Scharfsinn konstruiert sie einen Begriff des Raumes oder der Zeit und findet es dann absolut unmöglich, daß in diesem Raume sich Dinge befinden, daß in dieser Zeit sich Vorgänge abspielen. Sie findet unübersteigliche Schwierigkeiten in dem Verhältnisse von Ursache und Wirkung, von Leib und Seele, in der Möglichkeit eines Bewußtseins, kurz, in allem und jedem. Ja zum Schluß findet sie es vollkommen unerklärlich und sieht darin einen Widerspruch in sich selbst, daß überhaupt etwas existiert, daß etwas entstanden ist und sich verändern kann.

Dies Logik zu nennen, kommt mir vor, wie wenn jemand, um eine Bergtour zu machen, ein so langes faltenreiches Gewand anzöge, daß sich darin seine Füße fortwährend verwickelten und er schon bei den ersten Schritten in

der Ebene hinfiele. Die Quelle dieser Art Logik ist das übermäßige Vertrauen in die sogenannten Denkgesetze. Wohl ist es sicher, daß wir keine Erfahrungen machen könnten, wenn uns nicht gewisse Formen des Verknüpfens der Wahrnehmung, also des Denkens angeboren wären. Wenn wir diese Denkgesetze nennen wollen, so sind sie insofern freilich aprioristisch, als sie vor jeder Erfahrung in unserer Seele oder, wenn wir lieber wollen, in unserem Gehirn vorhanden sind. Allein nichts scheint mir weniger motiviert, als ein Schluß von der Apriorität in diesem Sinne auf absolute Sicherheit, auf Unfehlbarkeit. Diese Denkgesetze haben sich nach den gleichen Gesetzen der Evolution gebildet, wie der optische Apparat des Auges, der akustische des Ohres, die Pumpvorrichtung des Herzens. Im Verlauf der Entwicklung der Menschheit wurde alles unzweckmäßige abgestreift, und so entstand jene Einheitlichkeit und Vollendung, welche leicht Unfehlbarkeit vortäuschen kann. So erregt ja auch die Vollkommenheit des Auges, des Ohres, der Einrichtung des Herzens unsere Bewunderung, ohne daß jedoch die absolute Vollkommenheit dieser Organe behauptet werden kann. Ebensowenig dürfen die Denkgesetze als absolut unfehlbar betrachtet werden. Ja gerade sie haben sich behufs Erfassung des zum Lebensunterhalt notwendigen, des praktisch Nützlichen herausgebildet. Mit diesem zeigen die Resultate experimenteller Forschungen weit mehr Verwandtschaft, als die Prüfung des Werkzeugs des Denkens. Es kann uns daher nicht wunder nehmen, daß die zur Gewohnheit gewordenen Denkformen den abstrakten, dem praktisch anwendbaren so fern liegenden Problemen der Philosophie nicht ganz angepaßt sind und sich seit Thales Zeiten noch nicht angepaßt haben. Daher scheint dem Philosophen das einfachste am rätselhaftesten. Und er findet überall Widersprüche. Diese aber sind nichts anderes, als unzweckmäßige, verfehlte Nachbildungen des uns gegebenen durch unsere Gedanken. In dem gegebenen selbst können keine Widersprüche liegen. Sobald daher Widersprüche scheinbar nicht zu beseitigen sind, müssen wir sofort das, was wir unsere Denkgesetze nennen, was aber nichts anderes, als ererbte und angewöhnte zur Bezeichnung der praktischen Erfordernisse durch Äonen bewährte Vorstellungen sind, zu prüfen, zu erweitern und ab-

zuändern suchen. Gerade so wie zu den ererbten Erfindungen, der Walze, des Karrens, des Pfluges, schon längst unzählige künstliche, mit klarem Bewußtsein geschaffene, getreten sind, so müssen wir hier ebenfalls die ererbten Vorstellungen künstlich und mit Bewußtsein besser ordnen. Unsere Aufgabe kann nicht sein, das Gegebene vor den Richterstuhl unserer Denkgesetze zu zitieren, sondern vielmehr unsere Gedanken, Vorstellungen und Begriffe dem Gegebenen anzupassen. Da wir so komplizierte Verhältnisse nur durch Worte, geschriebene, gesprochene, oder stillgedachte klar auszudrücken vermögen, so kann man auch sagen, wir haben die Worte so zusammenzustellen, daß sie dem Gegebenen überall den passendsten Ausdruck verleihen, daß die von uns zwischen den Worten hergestellten Zusammenhänge überall den Zusammenhängen des Wirklichen möglichst adäquat sind. Sobald man das Problem so stellt, kann seine zweckmäßigste Lösung auch noch die allergrößten Schwierigkeiten bereiten, aber man kennt doch das angestrebte Ziel und wird nicht über selbst gemachte Schwierigkeiten stolpern.

Viel unzweckmäßiges in den Gewohnheiten und dem Verhalten der Lebewesen wird dadurch hervorgerufen, daß eine Handlungsweise, welche in den meisten Fällen zweckmäßig ist, so zur Gewohnheit, zur zweiten Natur wird, daß man nicht mehr davon lassen kann, wenn irgendwo ihre Zweckmäßigkeit aufhört. Ich sage da, die Anpassung schießt über das Ziel hinaus. Dies trifft besonders häufig bei den Denkgewohnheiten zu und wird die Quelle scheinbarer Widersprüche zwischen den Denkgesetzen und der Welt, sowie zwischen den Denkgesetzen untereinander.

So ist die Gesetzmäßigkeit des Naturgeschehens die Grundbedingung aller Erkennbarkeit; daher wird die Gewohnheit, bei allem nach der Ursache zu fragen, zum unwiderstehlichen Zwange, und wir fragen auch nach der Ursache, warum alles eine Ursache hat. In der Tat zerbrach man sich den Kopf, ob Ursache und Wirkung ein notwendiges Band, oder bloß eine zufällige Aufeinanderfolge darstellen, während es doch nur einen Sinn hat, zu fragen, ob eine spezielle Erscheinung immer mit einer bestimmten Gruppe anderer verbunden, deren notwendige Folge ist, oder ob sie unter Umständen auch fehlt.

Ebenso heißt etwas nützlich, wertvoll, wenn es die Lebensbedingungen des einzelnen, oder der Menschheit fördert; aber wir schießen über das Ziel hinaus, wenn wir nach dem Werte des Lebens selbst fragen, wenn uns dieses etwa als wertlos erscheint, weil es keinen außer sich liegenden Zweck hat. Ähnlich geht es auch, wenn wir uns vergeblich bemühen, die einfachsten Begriffe, aus denen alles aufgebaut ist, selbst wieder aus einfacheren aufzubauen, die einfachsten Grundgesetze selbst wieder zu erklären.

Wir dürfen nicht die Natur aus unsern Begriffen ableiten wollen, sondern müssen die letzteren der ersteren anpassen. Wir dürfen nicht glauben, daß sich alles nach unseren Kategorien einteilen läßt und es eine vollkommenste Einteilung gäbe. Diese wird immer eine schwankende und nur dem augenblicklichen Bedürfnisse angepaßte sein. Und auch die Spaltung der Physik in eine theoretische und experimentelle ist nur eine Folge der Zweiteilung der augenblicklich in Verwendung stehenden Methoden, und wird nicht ewig währen.

Meine gegenwärtige Lehre ist total verschieden von der, daß gewisse Fragen außerhalb der Grenzen des menschlichen Erkennens fallen. Denn nach letzterer Lehre liegt darin ein Mangel, eine Unvollkommenheit des menschlichen Erkenntnisvermögens, während ich die Existenz dieser Fragen, dieser Probleme selbst für eine Sinnestäuschung halte. Bei oberflächlichem Nachdenken überrascht es freilich, daß, nachdem die Sinnestäuschung erkannt ist, der Drang, jene Fragen zu beantworten, nicht aufhört. Die Denkgewohnheit ist viel zu mächtig, als daß sie uns losließe.

Es geht hier gerade so, wie mit den gewöhnlichen Sinnestäuschungen, die auch noch fortbestehen, nachdem ihre Ursache erkannt ist. Daher das Gefühl der Unsicherheit, der Mangel an Befriedigung, welcher den Naturforscher ergreift, wenn er philosophiert. Nur sehr langsam und allmählich werden diese Sinnestäuschungen weichen, und ich halte es für eine Hauptaufgabe der Philosophie, die Unzweckmäßigkeit dieses über das Ziel Hinausschießens unserer Denkgewohnheiten klar darzustellen und bei der Wahl und Verbindung der Begriffe und Worte unabhängig von unseren ererbten Gewohnheiten einzig nur den zweckmäßigsten Aus-

druck des Gegebenen anzustreben. Dann müssen allmählich diese Verwicklungen und Widersprüche verschwinden. Es muß klar hervortreten, was im Gebäude der Gedanken Baustein, was Mörtel ist, und das drückende Gefühl, daß das Einfachste am unerklärlichsten, das Trivialste am rätselhaftesten ist, würde von uns genommen. Unberechtigte Denkgewohnheiten können mit der Zeit weichen. Beweis dafür ist, daß heute jeder Gebildete die Lehre von den Gegenfüßlern und viele die nichteuklidische Geometrie begreifen. Würde es daher der Philosophie gelingen, ein System zu schaffen, wo in allen im Frühern besprochenen Fällen die Nichtberechtigung der Fragestellung klar hervorträte und dadurch der angewohnte Trieb danach allmählich erstürbe, so wären mit einem Schlage die dunkelsten Rätsel gelöst, und die Philosophie des Namens einer Königin der Wissenschaften würdig.

Unsere angeborenen Denkgesetze sind zwar die Vorbedingung unserer komplizierten Erfahrung, aber sie waren es nicht bei den einfachsten Lebewesen. Bei diesen entstanden sie langsam auch durch deren einfache Erfahrungen und vererbten sich auf die höher organisierten Wesen fort. Dadurch erklärt es sich, daß darin synthetische Urteile vorkommen, welche von unseren Ahnen erworben, für uns angeboren, also aprioristisch sind. Es folgt daraus ihre zwingende Gewalt, aber nicht ihre Unfehlbarkeit.

Wenn ich sage, Urteile wie „alles muß entweder rot, oder nicht rot sein", stammen aus der Erfahrung, so meine ich nicht, daß jeder einzelne diese nichtssagende Wahrheit an der Erfahrung kontrolliere, sondern, daß er die Erfahrung macht, daß seine Eltern jedes Ding entweder rot, oder nichtrot nennen, und diese Benennung nachahmt.

Es mag wohl scheinen, als ob wir uns mit philosophischen Fragen allzu eingehend beschäftigt hätten; allein es scheint mir, daß wir das, was wir nun gewonnen haben, nicht auf kürzerem und einfacherem Wege hätten erreichen können, nämlich ein unbefangenes Urteil darüber, wie die Frage nach der atomistischen Zusammensetzung der Materie aufzufassen ist. Wir werden uns nun nicht auf das Denkgesetz berufen, daß es keine Grenzen der Teilung der Materie geben könne. Dieses Denkgesetz ist nicht mehr wert, als wenn ein naiver Mensch sagen würde, wohin

immer ich auf der Erde ging, schienen mir die Lotrichtungen immer parallel, daher kann es keine Gegenfüßler geben.

Wir werden vielmehr einesteils nur vom Gegebenen ausgehen, andererseits aber, bei Bildung und Verbindung unserer Begriffe keine andere Rücksicht kennen, als das Bestreben, einen möglichst adäquaten Ausdruck des Gegebenen zu erhalten.

Was den ersten Punkt betrifft, so weisen die mannigfaltigsten Tatsachen der Wärmetheorie, der Chemie, der Kristallographie darauf hin, daß in den dem Anscheine nach kontinuierlichen Körpern keineswegs der Raum unterschiedslos und gleichförmig mit Materie erfüllt ist, sondern daß sich darin ungemein zahlreiche Einzelwesen, die Moleküle und Atome, befinden, welche zwar außerordentlich, aber nicht im mathematischen Sinne unendlich klein sind. Man kann ihre Größe nach verschiedenen, sehr disparaten Methoden berechnen und erhält immer das gleiche Resultat.

Die Fruchtbarkeit dieses Gedankens hat sich in neuester Zeit wieder bewährt. Alle Erscheinungen, welche an den Kathodenstrahlen, Bequerelstrahlen usw. beobachtet wurden, deuten darauf hin, daß man es dabei mit winzigen fortgeschleuderten Teilchen, den Elektronen, zu tun hat. Nach einem heftigen Kampfe siegte diese Ansicht vollständig über die ihr anfangs gegenüberstehende Undulationstheorie dieser Erscheinungen. Die erstere Theorie taugte nicht nur viel besser zur Erklärung der bisher bekannten Tatsachen, sie bot auch Anregung zu neuen Experimenten und gestattete bisher unbekannte Erscheinungen vorauszusagen; hierdurch entwickelte sie sich zu einer atomistischen Theorie der gesamten Elektrizitätslehre. Wenn sich diese mit gleichem Erfolge wie in den letzten Jahren weiter entwickelt, wenn Erscheinungen, wie die von Ramsay beobachtete Umwandlung von Radiumemanation in Helium nicht vereinzelt bleiben, so verspricht diese Theorie noch zu ungeahnten Aufschlüssen über die Natur und Beschaffenheit der Atome zu führen. Die Rechnung ergibt nämlich, daß die Elektronen noch viel kleiner als die Atome der ponderablen Materie sind, und die Hypothese, daß die Atome aus zahlreichen Elementen aufgebaut sind, sowie verschiedene interessante Ansichten über die Art und Weise dieses Aufbaus sind heute in aller Munde. Das

Wort Atom darf uns da nicht irreführen, es ist aus alter Zeit übernommen; Unteilbarkeit schreibt heute kein Physiker den Atomen zu.

Allein alle diese Tatsachen und die daraus gezogenen Konsequenzen sind es nicht, die ich hier ins Feld führen will; sie sind nicht imstande, die Frage nach der begrenzten oder unendlichen Teilbarkeit der Materie zum Austrag zu bringen. Wenn wir uns das, was man in der Chemie die Atome nennt, aus Elektronen zusammengesetzt denken, was würde uns schließlich hindern, die Elektronen als ausgedehnte, kontinuierlich mit Materie erfüllte Körperchen vorzustellen?

Wir wollen vielmehr hier getreu den früher entwickelten philosophischen Prinzipien folgen, also in möglichst unbefangener Weise die Begriffsbildung selbst prüfen, sie widerspruchslos und möglichst zweckmäßig zu gestalten suchen.

Da zeigt sich nun, daß wir das Unendliche nicht anders definieren können, als die Limite immer wachsender endlicher Größen, wenigstens war bisher noch niemand imstande, in anderer Weise einen irgendwie faßbaren Begriff des Unendlichen aufzustellen. Wollen wir uns daher vom Kontinuum ein Bild in Worten machen, so müssen wir uns notwendig zuerst eine große endliche Zahl von Teilchen denken, die mit gewissen Eigenschaften begabt sind, und das Verhalten des Inbegriffs solcher Teilchen untersuchen. Gewisse Eigenschaften dieses Inbegriffs können sich nun einer bestimmten Limite nähern, wenn man die Anzahl der Teilchen immer mehr zu-, ihre Größe immer mehr abnehmen läßt. Von diesen Eigenschaften kann man dann behaupten, daß sie dem Kontinuum zukommen, und dies ist meiner Ansicht nach die einzige widerspruchsfreie Definition eines mit gewissen Eigenschaften begabten Kontinuums.

Die Frage, ob die Materie atomistisch zusammengesetzt oder kontinuierlich ist, reduziert sich daher darauf, ob jene Eigenschaften bei Annahme einer außerordentlich großen, endlichen oder ihre Limite bei stets wachsender Teilchenzahl die beobachteten Eigenschaften der Materie am genauesten darstellen. Freilich die alte philosophische Frage haben wir hiermit nicht beantwortet, aber wir sind doch von

dem Bestreben geheilt, sie auf einem widersinnigen und aussichtslosen Wege entscheiden zu wollen. Der Denkprozeß, daß wir zuerst die Eigenschaften eines endlichen Inbegriffs untersuchen und dann die Zahl der Glieder des Inbegriffs außerordentlich wachsen lassen müssen, bleibt ja in beiden Fällen derselbe, und es ist nichts anderes, als der abgekürzte Ausdruck genau desselben Denkprozesses durch algebraische Zeichen, wenn man, wie dies öfter geschieht, die Differentialgleichungen selbst zum Ausgangspunkte einer mathematisch physikalischen Theorie macht.

Die Glieder des Inbegriffs, den wir als Bild der materiellen Körper wählen, können wir uns jedenfalls nicht als immer absolut ruhend denken, da es sonst überhaupt keine Bewegung gäbe; auch nicht in einem und demselben Körper als relativ ruhend, weil wir uns sonst von den Flüssigkeiten keine Rechenschaft geben könnten. Es ist ferner noch kein Versuch gemacht worden, sie anders als den allgemeinen Gesetzen der Mechanik unterworfen zu denken. Wir wollen daher zur Naturerklärung den Inbegriff einer außerordentlich großen Zahl sehr kleiner, in steter Bewegung begriffener, den Gesetzen der Mechanik unterworfener Urindividuen wählen. Es ist dagegen eine Einwendung erhoben worden, welche wir passend zum Ausgangspunkte der Betrachtungen machen können, die das Schlußziel dieses Vortrags bilden sollen. Die Grundgleichungen der Mechanik ändern ihre Form nicht im mindesten, wenn man darin bloß das Vorzeichen der Zeit umkehrt. Alle rein mechanischen Vorgänge können sich daher in dem einen Sinne genau so, wie im entgegengesetzten, im Sinne der wachsenden Zeit genau so, wie im Sinne der abnehmenden, abspielen. Nun bemerken wir aber schon im gewöhnlichen Leben, daß Zukunft und Vergangenheit keineswegs sich so vollkommen decken, wie die Richtung nach rechts und die nach links, daß vielmehr beide deutlich voneinander verschieden sind.

Genauer präzisiert wird dies durch den sogenannten zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie. Derselbe sagt aus, daß, wenn ein beliebiges System von Körpern sich selbst überlassen und nicht von andern Körpern beeinflußt ist, immer der Sinn angegeben werden kann, in dem jede Zustandsänderung sich abspielt. Es läßt sich näm-

lich eine gewisse Funktion des Zustands sämtlicher Körper, die Entropie, angeben, welche so beschaffen ist, daß jede Zustandsänderung nur in dem Sinne vor sich gehen kann, welcher ein Wachstum dieser Funktion bedingt, so daß dieselbe mit wachsender Zeit nur wachsen kann. Dieses Gesetz ist freilich nur durch Abstraktion gewonnen, wie das galiläische Prinzip; denn es ist unmöglich, ein System von Körpern in aller Strenge dem Einflusse aller übrigen zu entziehen. Aber da es mit den übrigen Gesetzen zusammen bisher immer richtige Resultate ergeben hat, so halten wir es für richtig, wie dies nicht anders beim galiläischen Prinzipe zutrifft.

Es folgt aus diesem Satze, daß jedes abgeschlossene System von Körpern endlich einem bestimmten Endzustande zustreben muß, für welchen die Entropie ein Maximum ist. Man hat sich gewundert, als schließliche Konsequenz dieses Satzes zu finden, daß die gesamte Welt einem Endzustande zueilen muß, wo alles Geschehen aufhört; allein diese Konsequenz ist selbstverständlich, wenn man die Welt als endlich und als dem zweiten Hauptsatze unterworfen betrachtet. Sieht man die Welt als unendlich an, so stellen sich wieder die besprochenen Denkschwierigkeiten ein, wenn man sich das Unendliche nicht als eine bloße Limite vorstellt.

Da in den Differentialgleichungen der Mechanik selbst absolut nichts dem zweiten Hauptsatze Analoges existiert, so kann derselbe nur durch Annahmen über die Anfangsbedingungen mechanisch dargestellt werden. Um die hierzu tauglichen Annahmen zu finden, müssen wir bedenken, daß wir behufs Erklärung kontinuierlich scheinender Körper voraussetzen müssen, daß von jeder Gattung von Atomen oder allgemeiner, mechanischen Individuen außerordentlich viele in den mannigfaltigsten Anfangslagen befindliche vorhanden sein müssen. Um diese Annahme mathemathisch zu behandeln, wurde eine eigene Wissenschaft erfunden, welche nicht die Aufgabe hat, die Bewegungen eines einzelnen mechanischen Systems, sondern die Eigenschaften eines Komplexes sehr vieler mechanischer Systeme zu finden, die von den mannigfaltigsten Anfangsbedingungen ausgehen. Das Verdienst, diese Wissenschaft in ein System gebracht, in einem größeren

Buche dargestellt und ihr einen charakteristischen Nam
gegeben zu haben, gebührt einem der größten amerikanisch
Gelehrten, was reines abstraktes Denken, rein theoretisc
Forschung anbelangt, vielleicht dem größten, **Willard Gibb**
dem kürzlich verstorbenen Professor von **Yale Colleg**
Er nannte diese Wissenschaft die statistische Mechanik. S
zerfällt in zwei Teile. Der erste untersucht die Bedingunge
unter welchen sich die äußerlich bemerkbaren Eigenschaft
eines Komplexes sehr vieler mechanischer Individuen g
nicht ändern, trotz lebhafter Bewegung der Individuen, diesen ersten Teil möchte ich die statistische Statik nennen. Der zweite Teil berechnet die allmählichen Änderungen dieser äußerlich sichtbaren Eigenschaften, wenn jene Bedingung nicht erfüllt ist. Er mag die statistische Dynamik heißen. Auf die weite Perspektive, welche sich uns eröffnet, wenn wir an eine Anwendung dieser Wissenschaft auf die Statistik der belebten Wesen, der menschlichen Gesellschaft, der Soziologie usw., und nicht bloß auf mechanische Körperchen denken, mag hier nur mit einem Worte hingewiesen werden.

Eine Entwicklung der Details dieser Wissenschaft wäre nur an der Hand mathematischer Formeln in einer Reihe von Vorlesungen möglich. Sie ist, abgesehen von mathematischen, auch nicht frei von prinzipiellen Schwierigkeiten. Sie basiert nämlich auf der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Nun ist diese zwar ebenso exakt, wie jede andere Mathematik, sobald der Begriff der gleichen Wahrscheinlichkeit gegeben ist. Aber dieser kann als Fundamentalbegriff nicht wieder abgeleitet werden, sondern ist als gegeben zu betrachten. Es geht hier so, wie bei den Formeln der Methode der kleinsten Quadrate, welche sich auch nur unter bestimmten Annahmen über die gleiche Wahrscheinlichkeit von Elementarfehlern einwurfsfrei ergeben. Aus diesen prinzipiellen Schwierigkeiten erklärt es sich, daß selbst das einfachste Resultat der statistischen Statik, der Beweis des **Maxwell**schen Geschwindigkeitsgesetzes unter Gasmolekülen, noch immer bestritten wird.

Die Lehrsätze der statistischen Mechanik sind strenge Folgen der gemachten Annahmen und werden immer wahr bleiben, wie alle wohlbegründeten mathematischen Lehr-

sätze. Ihre Anwendung auf das Naturgeschehen aber ist das Prototyp einer physikalischen Hypothese. Gehen wir nämlich von den einfachsten Grundannahmen über die gleiche Wahrscheinlichkeit aus, so finden wir für das Verhalten von Aggregaten sehr vieler Individuen ganz analoge Gesetze, wie sie die Erfahrung für das Verhalten der materiellen Welt zeigt. Progressive oder drehende sichtbare Bewegung muß immer mehr in unsichtbare Bewegung der kleinsten Teilchen, in Wärmebewegung übergehen, wie Helmholtz charakteristisch sagt: Geordnete Bewegung geht immer mehr in ungeordnete über; die Mischung der verschiedenen Stoffe, sowie der verschiedenen Temperaturen, der Stellen mehr oder minder lebhafter Molekularbewegung, muß eine immer gleichförmigere werden. Daß diese Mischung nicht schon von Anfang eine vollständige war, daß die Welt vielmehr von einem sehr unwahrscheinlichen Anfangszustande ausging, das kann man zu den fundamentalen Hypothesen der ganzen Theorie zählen, und man kann sagen, daß der Grund davon ebensowenig bekannt ist, wie überhaupt der Grund, warum die Welt gerade so und nicht anders ist. Aber man kann auch noch einen anderen Standpunkt einnehmen. Zustände großer Entmischung, respektive großer Temperaturunterschiede, sind nach der Theorie nicht absolut unmöglich, sondern nur äußerst unwahrscheinlich, allerdings in einem geradezu unfaßbar hohen Grade. Wenn wir uns daher die Welt nur als groß genug denken, so werden nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung daselbst bald da, bald dort Stellen von den Dimensionen des Fixsternhimmels mit ganz unwahrscheinlicher Zustandsverteilung auftreten. Sowohl bei ihrer Bildung, als auch bei ihrer Auflösung wird der zeitliche Verlauf ein einseitiger sein, wenn sich also denkende Wesen an einer solchen Stelle befinden, so müssen sie von der Zeit genau denselben Eindruck gewinnen, den wir haben, obwohl der zeitliche Verlauf für das Universum als ganzes kein einseitiger ist. Die hier entwickelte Theorie geht zwar kühn über die Erfahrung hinaus, aber sie hat gerade die Eigenschaft, welche jede derartige Theorie haben soll, indem sie uns die Erfahrungstatsachen in ganz neuartiger Beleuchtung zeigt und zu weiterem Nachdenken und Forschen anregt. Im Gegensatze zum ersten Hauptsatze erscheint

nämlich der zweite als bloßer Wahrscheinlichkeitssatz, wie es Gibbs schon in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts ausgesprochen hat.

Ich bin hier philosophischen Fragen nicht aus dem Wege gegangen in der festen Hoffnung, daß ein einmütiges Zusammenwirken der Philosophie und Naturwissenschaft jeder dieser Wissenschaften neue Nahrung zuführen wird, ja, daß man nur auf diesem Wege zu einem wahrhaft konsequenten Gedankenausdruck gelangen kann. Wenn Schiller zu den Naturforschern und Philosophen seiner Zeit sagte: „Feindschaft sei zwischen euch, noch kommt das Bündnis zu frühe", so stehe ich nicht mit ihm im Widerspruch, ich glaube eben, daß jetzt die Zeit für das Bündnis gekommen ist.

20.

Entgegnung auf einen von Prof. Ostwald über das Glück gehaltenen Vortrag.[1])

Schopenhauer schickt seiner Kritik der Kantischen Philosophie eine Einleitung voraus, in welcher er erklärt, vorher ein für allemal seiner großen Verehrung für Kant Ausdruck geben zu müssen, um sich dann später Kürze halber bloß auf Besprechung dessen beschränken zu können, was ihm fehlerhaft scheint und nicht den Gedankengang wieder fortwährend mit der Versicherung dieser Verehrung und dem Hervorheben des vielen Vortrefflichen unterbrechen zu müssen, was Kant neben dem ihm unrichtig Scheinenden vorbringt. Diese Erklärung soll verhüten, daß trotz der scharfen Worte, die er dann später gegen Kant gebraucht, jemand seine hohe Meinung von Kants großem Genius in Zweifel ziehe. Das gleiche Verfahren schlage ich hier ein, indem ich im voraus Herrn Geheimrat Ostwald meinen speziellen persönlichen Dank für den hohen Genuß und die mannigfaltigen geistigen Anregungen abstatte, die mir aus seinen so vielseitigen, ebenso originellen als tiefsinnigen Schriften und Vorträgen zuteil wurden, dann aber mich lediglich gegen das, womit ich nicht einverstanden bin, ohne alle weiteren Umschweife wende.

Ich bemerke ferner, daß eine derartige Kontroverse niemals den Zweck haben kann, den Gegenstand zu erschöpfen, oder gar zur Entscheidung zu bringen, welche der beiden Parteien Recht, welche Unrecht hat; in der Regel hat weder der eine noch der andere absolut Recht oder absolut

1) In der Wiener philosophischen Gesellschaft 1904.

Unrecht. Der Zweck der Kontroverse ist vielmehr, den G genstand allseitig zu beleuchten, und die Debattierend sowohl als auch die Zuhörer zu weiterem Nachdenken a zuregen. Deshalb verzichte ich auch nach einer etwaig Replik von vornherein auf jede Duplik.

Schon seit langem, gewiß schon lange vor Einführu des Wortes Energie in seiner heutigen Bedeutung dur Rankine in die Naturwissenschaft, hat man eine kräftige W lensbetätigung als Energie bezeichnet. Wir wollen sie ps chische Energie im Gegensatz zur physikalischen Energie Rankines nennen. Wir haben also da für zwei Objekte dasselbe Wort, aber es fragt sich noch, ob jedesmal in derselben Bedeutung; ich möchte das bezweifeln. In der Naturwissenschaft ist die Energie eine Größe, die sich genau messen läßt, die in verschiedenen Gebieten eine Rolle spielt, aber sobald sie überall im passenden Masse gemessen wird, sich der Quantität nach genau erhält, so daß, wenn sie irgendwo verschwindet, immer anderswo ein genau gleicher Betrag zum Vorschein kommt.[1]) Nur wenn der Nachweis geliefert worden wäre, daß bei Entwicklung psychischer Energie wirklich jedesmal eine genau äquivalente (gleichwertige) Menge physikalischer verschwindet, d. h. daß die psychische Energie in einem solchen Masse gemessen werden kann, daß die entwickelte psychische Energie jedesmal der verschwundenen physikalischen genau gleich ist, hätte man das Recht, von psychischer Energetik zu sprechen.

Der Nachweis dieses Satzes ist aber keineswegs gelungen; ja, es spricht alles dafür, daß dieser Nachweis überhaupt unmöglich ist, und zwar aus dem Grunde, weil der Satz vollkommen falsch ist. Der vollkommene Parallelismus zwischen den psychischen Erscheinungen und den physikalischen Gehirnvorgängen macht es wahrscheinlich, daß alle Energie fortwährend in der Form von physikalischer Energie der Gehirnmasse bestehen bleibt, und die psychischen Vorgänge bloße energielose parallellaufende Begleiterscheinungen, ja vielleicht bloß eine zweite Abbildung derselben Erscheinungen von einem anderen Gesichtspunkte aus be-

trachtet in unserem Intellekte sind, die also als solche unmöglich irgend eine neue Energie im physikalischen Sinne enthalten können.

Würden wir den seelischen Erscheinungen wirklich eine neue Form der physikalischen Energie, die psychische im Ostwaldschen Sinne, zuschreiben und annehmen, daß psychische und physikalische Energie sich gegenseitig nach dem Energiesatze ineinander verwandeln können, so würden wir wieder auf die uralte Lehre von einer besonderen neben dem Leibe existierenden Psyche zurückkommen, welche auf Teile der Gehirnmasse oder sonstige Teile des Leibes bewegend wirken kann, wie ein Magnet auf weiches Eisen, eine Ansicht, die wohl von allen naturwissenschaftlich klar denkenden Physiologen und wohl auch schon von den am klarsten denkenden Philosophen als nicht wahrscheinlich bezeichnet werden wird.

Aber sei dem wie immer, selbst wenn man eine solche Wechselwirkung zwischen Leib und Seele wieder annehmen will, so bleibt doch sicher, daß das, was man Energie der Willenskraft nennt, etwas ganz von dem Verschiedenes ist, was man in der Naturwissenschaft Energie nennt. Denken wir uns einen sehr energischen Mann. Er geht zuerst im Zimmer auf und ab und faßt Entschlüsse; dann teilt er dieselben den Mitgliedern seiner Familie, seinen Freunden, seinen Untergebenen in klaren und entschiedenen Worten mit und erreicht, daß alle ausführen, was er anstrebte. Zu allen diesen Vorgängen ist sicher ein bestimmtes Quantum physikalischer Energie notwendig, da sie ja von physikalischen Vorgängen der Gehirnmasse und der Glieder des Leibes begleitet werden. Aber nun vergleichen wir damit einen Neurastheniker, der wie besessen in seinem Zimmer hin- und herrennt, wettert und flucht, seine Umgebung anschreit und auszankt, bloß deshalb, weil er zweifelt, daß das schöne Wetter anhalten wird, und er sich nicht entschließen kann, ob er spazieren gehen oder zu Hause bleiben soll. Spricht nicht alles dafür, daß die Tätigkeit des Neurasthenikers ebensoviel, ja vielleicht mehr physikalische Energie aufbrauchen wird, als die des willensstarken Mannes, und trotzdem entwickelt der letztere die höchste, der erstere gar keine psychische Energie.

Man könnte zur Verteidigung der Ostwaldschen Ansicht

hingegen folgendes bemerken: Die auf Bewegung der Beine beim Auf- und Abgehen im Zimmer, des Kehlkopfes, der Lunge, Zunge usw. beim Sprechen, sowie auch die auf Herstellung der beim Denken nötigen Gehirnfunktionen verwendete Energie sei freilich in beiden Fällen dieselbe; allein abgesehen von dieser, verwandle sich noch ein zahlenmäßig definiertes Quantum physikalischer Energie in eine vollkommen neue Energieform, die rein psychische im Ostwaldschen Sinne, welche sich vollkommen gegen die physikalische austausche. Dies zu widerlegen wäre natürlich ebenso schwer, als es zu beweisen. Jedenfalls aber ist es vorschnell, daraus, daß es Sprachgebrauch geworden ist, beides mit demselben Namen Energie zu bezeichnen, den Schluß zu ziehen, daß die psychische auch einer äquivalenten Menge physikalischer Energie entspreche, also dem Satze von der Erhaltung der Energie unterworfen sein müsse, der für die physikalische nicht aus der Luft gegriffen, sondern erst als Naturgesetz anerkannt wurde, nachdem die ausgedehntesten und mühevollsten Experimente seine Richtigkeit bewiesen hatten.

Zudem könnte die psychische Energieform nur ganz vorübergehend außerhalb der physikalischen Vorgänge des Leibes ihren Sitz haben und müßte sich immer wieder rasch in rein physikalische umwandeln; denn sonst müßte ja mit der Zeit ein großer Energiebetrag außerhalb der physikalischen Vorgänge des Leibes vorhanden sein, und dieser müßte beim Tode plötzlich wieder als rein physikalische Energie

Es zollt Herr Geheimrat Ostwald in allen seinen Schriften Mach hohe Anerkennung und gewiß mit Fug und Recht; meine Verehrung gegen Mach ist keine geringere, wenn ich auch nicht in allem gleicher Meinung mit ihm bin. Was aber die Ostwaldsche Energetik anbelangt, so glaube ich, daß sie lediglich auf einem Mißverständnisse der Machschen Ideen beruht. Mach wies darauf hin, daß uns bloß der gesetzmäßige Verlauf unserer Sinneswahrnehmungen und Vorstellungen gegeben ist, daß dagegen alle physikalischen Größen, die Atome, Moleküle, Kräfte, Energien usw. bloße Begriffe zur ökonomischen Darstellung und Veranschaulichung dieser gesetzmäßigen Beziehungen unserer Sinneswahrnehmungen und Vorstellungen sind. Die letzteren sind also das einzige in erster Linie existierende, die physikalischen Begriffe sind bloß von uns hinzugedacht. Ostwald verstand von diesem Satze nur die eine Hälfte, daß die Atome nicht existieren; er fragte sofort: „Ja, was existiert denn sonst?" und gab darauf die Antwort, die Energie sei eben das Existierende. Meines Dafürhaltens ist diese Antwort ganz dem Sinne Machs entgegen, der die Energie gerade so, wie die Materie für einen symbolischen Ausdruck gewisser zwischen den Wahrnehmungen bestehender Beziehungen, gewisser Gleichungen zwischen den gegebenen psychischen Erscheinungen halten muß.

Was den Begriff des Glücks betrifft, so leite ich ihn aus der Darwinschen Theorie ab. Ob sich während der Jahrmillionen in der enormen Wassermasse auf der Erde das erste Protoplasma „durch Zufall" im feuchten Schlamme entwickelte, ob Eizellen, Sporen oder sonstige Keime in Staubform oder in Meteoriten eingebettet einmal aus dem Weltenraume auf die Erde gelangt sind, kann uns hier gleich gelten. Höher entwickelte Individuen sind kaum vom Himmel gefallen. Es waren also zunächst nur ganz einfache Individuen, einfache Zellen oder Protoplasmaklümpchen vorhanden. Stete Bewegung, die sogenannte Brownsche Molekularbewegung, ist ja, wie man weiß, allen kleinen Klümpchen eigen; auch ein Anwachsen durch Aufsaugen ähnlicher Bestandteile und eine nachherige Vermehrung durch Teilung ist auf rein mechanischem Wege vollkommen begreiflich. Ebenso begreiflich ist es, daß die raschen Bewegungen durch die Umgebung beein-

flußt und modifiziert wurden. Solche Klümpchen, bei denen diese Modifikation in dem Sinne erfolgte, daß sie sich durchschnittlich (mit Vorliebe) dorthin bewegten, wo es besser zum Aufsaugen geeignete Stoffe (bessere Nahrung) gab, gelangten besser zum Wachstume und häufiger zur Fortpflanzung und überwucherten daher bald alle andern.

In diesem einfachen mechanisch leicht begreiflichen Vorgange haben wir Vererbung, Zuchtwahl, Sinneswahrnehmung, Verstand, Willen, Lust und Schmerz alles in nuce beisammen. Es bedarf nur einer quantitativen Steigerung unter stetiger Anwendung desselben Prinzipes, um durch das ganze Pflanzen- und Tierreich zur Menschheit mit all ihrem Denken und Empfinden, Wollen und Handeln, ihrer Lust und ihrem Schmerze, ihrem künstlerischen Schaffen und wissenschaftlichen Forschen, ihrem Edelmut und ihren Lastern zu gelangen.

Zellen, welche sich zu größeren Gesellschaften, unter denen Arbeitsteilung Platz griff, assoziiert hatten und durch Teilung wieder Zellen mit ähnlichen Tendenzen abschieden, hatten größere Chancen im Kampf ums Dasein, besonders wenn gewisse Zellen bei schädlichen Einflüssen nicht ruhten, bis die Arbeitszellen diese nach Möglichkeit entfernt hatten (Schmerz). Die Tätigkeit dieser Zellen war besonders wirksam, wenn sie, sobald ja einmal die Entfernung der schädlichen Einflüsse nicht vollständig gelungen war, andauerte und eine nur sehr langsam nachlassende Spannung hinterließ, welche die Erinnerungszellen belastete und bei Wiederkehr ähnlicher Umstände die Bewegungszellen zu noch energischerem und umsichtigerem Zusammenwirken anstachelte. Dieser Zustand heißt andauernde Unlust, Gefühl des Unglücks. Das Gegenteil, die vollkommene Freiheit von solcher bohrender Nachwirkung, die Mahnung an die Erinnerungszellen, daß die Bewegungszellen in ähnlichen Fällen künftig gerade wieder so wirken sollen, heißt dauernde Lust, Gefühl des Glückes.

Damit sind freilich alle Abstufungen dieser Gefühle in hoch organisierten Wesen nicht im entferntesten erschöpft. Zu einer Physiologie des Glücks ist nicht einmal der Anfang gemacht; aber es ist doch der Gesichtspunkt fixiert, unter dem man die betreffenden Erscheinungen betrachten muß, wenn

man nicht bloß schön klingende, erhebende, poetische, begeisternde Phrasen darüber machen, sondern sie naturwissenschaftlich erklären will.

Natürlich ist dabei bloß eine, die naturwissenschaftlich begreifliche Seite der Gefühlserscheinungen ins Auge gefaßt. Man sieht ein, warum uns die Vorgänge eines Organismus, der dem unsrigen ganz ähnlich gebaut ist, viel direkter berühren und in einem ganz andern Lichte erscheinen, als die eines vollkommen heterogenen, so daß wir eine von Menschenhand aus Stangen und Rädern fabrizierte Maschine nie glücklich oder unglücklich nennen würden, selbst wenn sie ebenso kompliziert gebaut und zentralistisch organisiert wäre wie unser Organismus, und analog durch äußere Einflüsse zu zweckmäßiger Tätigkeit angeregt würde, eine Idee, in die wir uns freilich auch viel schwerer hineinversetzen können, als es die Anhänger der Hypothese besonderer von den Gehirnvorgängen getrennt existierender psychischer Erscheinungen glauben.

Auch daß für jedes Individuum bloß die eigenen psychischen Phänomene (nicht die damit identischen, aber als mechanische Vorgänge nicht erkannten Gehirnprozesse) das unmittelbar gegebene und die Atome, Kräfte und Energieformen viel später zur Abbildung der Gesetzmäßigkeiten der Wahrnehmungen gedanklich dazu konstruierte Begriffe sind, ist hierdurch vollkommen klar gemacht.

Wie man aber sagen kann, man fühle unmittelbar, daß unsere Empfindungen nicht bloß eine Betrachtung der rein physikalischen Vorgänge von einer andern Seite, sondern etwas von diesen ganz Verschiedenes zu ihnen neu Hinzukommendes sein müßten, konnte ich nie begreifen. So glaubten die Menschen vor Kolumbus, unmittelbar zu fühlen, daß Gegenfüßler unmöglich seien, und die vor Kopernikus, daß sich die Erde nicht drehe.

Ostwald drückt die Größe des Glücks durch die algebraische Formel $E^2 - W^2 = (E + W)(E - W)$ aus, wobei E die mit Absicht und Erfolg, W die mit Widerwillen aufgewandte Energie bedeutet. Dazu möchte ich noch bemerken, daß der echte Mathematiker bestimmte Potenzexponenten nur in eine Formel aufnimmt, wenn durch genaue Messungen konstatiert ist, daß nur gerade diese Potenzexponenten und

keine andern zur Übereinstimmung mit der Erfahrung erforderlich sind. Hat Ostwald bewiesen, daß $E^4 - W^4$, $E^n - W^n$ oder zahlreiche ähnliche Formeln schlechter mit der Erfahrung übereinstimmen?

Daß neben der Differenz $E - W$ auch die Summe $E + W$ zum Glücke beiträgt, ist die Überzeugung eines tatenlustigen Westeuropäers. Ein Buddhist, dessen Ideal die Abtötung des Willens ist, würde vielleicht schreiben: $\frac{E - W}{E + W}$. Wir kennen in der Mathematik auch Formeln, wo die Rechnungsoperationen nur symbolisch gemeint sind; aber dann muß auch die Anwendbarkeit jedes Rechengesetzes von neuem bewiesen werden. Ist die Formel nur symbolisch gemeint, so ist es nicht mehr evident, daß die beiden Ausdrücke $(E + W)(E - W)$ nnd $E^2 - W^2$ auch wirklich gleich, d. h. die Multiplikationsregeln für algebraische Größen auch auf diese symbolischen Ausdrücke anwendbar sind, sondern dieses bedarf erst eines besonderen Beweises.

Dagegen fehlen in Ostwalds Formel wieder Größen, von denen das Glück offenbar abhängt, z. B. die unmittelbar vorhergehenden Glücksumstände. Die Rücksicht hierauf veranlaßte meinen als Gymnasiast verstorbenen Bruder Albert zu folgender Definition des Glückes: Das Glück jemandes ist gleich dem Grade der Erfreulichkeit dessen, was er gerade denkt, weniger dem, was er für den durchschnittlichen Grad der Erfreulichkeit dessen hält, was er dächte, wenn er das nicht dächte, was er denkt. (à la Behrisch vgl. Goethes Wahrheit und Dichtung, 2 Seiten vor Beginn des 8. Buches.)

(Dieser Aufsatz entstand über Auftrag des Herrn Herausgebers der „Umschau", welcher die flüchtigen Worte in seiner Zeitschrift zu veröffentlichen wünschte, die ich Herrn Prof. Ostwald auf seinen in Wien 1904 über das Glück gehaltenen Vortrag geantwortet hatte. Ich glaube, daß ich damals nicht der einzige war, der den Eindruck hatte, Ostwald habe sich halb und halb einen Scherz erlaubt, und in diesem Sinne entgegnete ich. Ein Scherz scheint es doch auch, daß ich meine Entgegnung lange vor der Drucklegung des Ostwaldschen Vortrages veröffentlichte.

Der Vollständigkeit halber habe ich sie auch hier aufgenommen; aber den leichtfertigen Ton kann ich jetzt, nachdem der Ostwaldsche

Vortrag gedruckt erschien[1]), nur bedauern. Denn wenn ein Forscher vom Rufe und Einflusse Ostwalds der exakten Methode, die sich im Verlaufe von Jahrhunderten herausgebildet und als die allein zum Ziele führende bewährt hat, einen derartigen Faustschlag versetzt, so ist das bitterer Ernst. Daher möge man gestatten, daß ich dem vorstehenden Aufsatze noch einige ergänzende Bemerkungen beifüge.)

Schon vor mehreren Jahren hatte ich Gelegenheit, auf rein physikalischem Gebiete der Energetik Ostwalds energisch entgegenzutreten. Wenn ich dasselbe nun wieder tue, so hat das gewiß nicht persönliche Gründe; ich glaube ja das Glück zu haben, mich zu den besten Freunden Ostwalds zählen zu dürfen und bin ein Bewunderer seiner Arbeiten auf physiochemischem Gebiete; auch bin ich durchaus kein prinzipieller Gegner der Bestrebungen, eine Theorie aufzubauen, welche den Energiebegriff an die Spitze stellt, nur ein Gegner der Art und Weise, wie dies Ostwald versucht.

Wenn ich daher jetzt wieder der Energetik E Ostwalds, soweit es in meiner Macht steht, ein W entgegenzusetzen suche, so geschieht es bloß, weil ich mich des Gedankens nicht erwehren kann, daß eine Rückkehr zu der unexakten Methode des Ostwaldschen Aufsatzes über das Glück, die man endlich überwunden glaubte, einen Rückschritt der Wissenschaft um Jahrhunderte bedeuten würde.

Nach den nunmehrigen Erklärungen Ostwalds kann kein Zweifel darüber bestehen, daß er von Energie im gewöhnlichen physikalischen Sinne des Wortes spricht. Die gesamte Energie C, welche im Organismus durch Oxydation der in den Speisen genossenen Stoffe gewonnen und teils direkt in Wärme, teils in mechanische Energie umgesetzt wird, teilt Ostwald zunächst in 2 Teile, diejenige D, welche auf unbewußte physiologische Funktionen (Unterhaltung der Körperwärme, Blutzirkulation, Atmung, Verdauung etc.) verwendet wird und diejenige $E+W$, deren Umwandlung mit Bewußtseinsakten verknüpft ist. Die erstere läßt er ganz aus dem Spiele, nur die letztere wird in seinen Betrachtungen über das Glück beigezogen.

Gleich bei Beginn der Diskussion dieser Größe $E+W$

1) A theory of happiness by Wilhelm Ostwald; the international quaterly vol. XI p. 316, july 1905. Ann. d. Naturphilos. IV S. 457.

spielt ihm schon, wie mir scheint, die unbewußte Erinnerung an den andern psychologischen, Seite 365 besprochenen Sinn des Wortes Energie einen bösen Streich. Weil das, was wir psychologisch Energie nennen, in der innigsten Beziehung mit der Willensanstrengung steht, so findet er es wahrscheinlich, daß die Größe $E + W$ der Willensstärke proportional ist. Als Beweis für diese Hypothese führt er bloß an, daß ein ermüdetes Gehirn zu Willensanstrengungen unfähig ist, und daß uns ungewöhnliche Willensanstrengungen ermüden. Er gibt auch zu, daß hier wohl noch ein persönlicher Faktor ins Spiel kommt, so daß bei verschiedenen Personen derselbe Willensakt sehr verschiedenen Ausgaben von Speisestoffverbrennungsenergie entsprechen mag. Allein ich halte diese Hypothese Ostwalds, daß auch bei ein und derselben Person auch nur ein Schatten von Proportionalität zwischen der aufgewandten physikalischen Energie $E + W$ und der Willensstärke bestehe, für absolut verfehlt.

Der Wille scheint mir überall nur den Charakter des auslösenden Agens zu haben, das zum Spiele der Energieumwandlung den Anstoß gibt, aber seine Intensität scheint mir dem dann erfolgenden Umsatz so wenig proportional zu sein, wie etwa die Intensität des Funkens, der ein Pulverfaß zur Explosion bringt, dem Energieumsatze bei der Explosion. Ich kann im Zimmer auf und ab gehen, einen Spaziergang machen, einen Berg besteigen. Alles das führe ich bewußt, mit Willen aus; allein meine Willensintensität kann sehr gering sein. Der unbedeutendste Umstand würde mich veranlassen, diese Handlungen zu unterlassen, obwohl dabei ein großer Energieumsatz stattfindet. Ich wende ganz wenig Energie im psychologischen, aber viel im physikalischen Sinne auf.

Dagegen kann ich im höchsten Grade die Lösung einer mir wichtigen mathematischen Aufgabe [1]) oder das Erreichen einer Ehrenstelle, oder einer Geldsumme oder die Befreiung von einem körperlichen Schmerze usw. wünschen und anstreben, aber mein Nachdenken ist mit einem sehr kleinen

1) Die Schwierigkeit der Aufgabe spielt dabei keine wesentliche Rolle. Ein Rätsel könnte ebenso schwierig sein und das Gelingen seiner Auflösung könnte mir doch wenig wichtig sein.

Aufwande rein physikalischer Energie verbunden. Das Gelingen der Lösung der Aufgabe macht mich überaus glücklich, das Unterlassen der Bergbesteigung würde mich gar nicht unglücklich machen. Aus diesen Betrachtungen folgt, daß nicht die Quantität $E + W$ des physikalischen Energieumsatzes für die Intensität, mit der man etwas will, maßgebend ist.

Nun kann aber doch unmöglich das Wesen der Energetik darin bestehen, daß man überall das Wort Energie anhängt, gleichgültig, ob dieses Wort, das in der Physik einen ganz bestimmten Sinn hat, hinpaßt, oder nicht. Mit der Größe des Glücks hat offenbar die Quantität der beim Willensakte umgewandelten Energie gar nichts zu schaffen, sondern nur die wirkliche Intensität des Willens, die etwas total davon Verschiedenes ist.

Ein ganz ähnliches Bewandtnis hat es mit der Art und Weise, wie Ostwald von der gesamten Energie $E + W$ den Teil W abspaltet, der gegen den Willen ausgegeben wird. Wenn etwas gegen unseren Willen geschieht, ist uns das unangenehm; es trägt nicht zu unserem Glücke, sondern zu unserem Unglücke bei. Um das einzusehen, bedarf es keiner Energetik; aber auch hier halte ich das Quantum der gegen unseren Willen aufgewendeten physikalischen Energie für ein möglichst unzweckmäßig gewähltes Maß. Die Unannehmlichkeit ist allem andern eher, als der in physikalischem Maße gemessenen gegen unseren Willen aufgewandten Energie proportional. Wir können mit sehr kleinem Energieaufwande einen furchtbaren, für unser ganzes Leben verhängnisvollen Bock schießen und mit sehr großem Energieaufwande uns ganz unbedeutende Unannehmlichkeiten zuziehen.

Ostwald sagt selbst einmal, daß es nicht auf den wirklichen Widerstand, sondern bloß auf unser psychisches Gefühl eines Widerstandes ankommt, und letzteres hat meiner Ansicht nach sonst mit der Energie gar nichts zu schaffen, als daß es mit physikalisch-chemischen Vorgängen im Gehirne und in der Außenwelt verknüpft ist und diese nicht ohne Energieumsatz möglich sind; aber von einer Proportionalität des Gefühles mit dem Energieumsatze, von einer Meßbarkeit des einen durch das andere ist gar keine Spur vorhanden.

Es scheint also hier wieder W nur deshalb als Energie

angesprochen worden zu sein, weil es eben Prinzip d Energetikers ist, alles, ob es der mechanischen Energie pı portional ist oder nicht, Energie zu nennen.

Übrigens finde ich, daß diese Spaltung der gesamten b wußt aufgewandten Energie $E + W$ in die beiden Teile und W auch aus anderen Gründen keineswegs so einfa ist, wie sich Ostwald dieselbe vorstellt.

Man denkt da unwillkürlich an ein Gewicht, welch bald (gewissermaßen seinem Willen gemäß) sinkt, bald (seine Willen entgegen) gehoben wird. Allein diese Analogie ist sofort abzuweisen, da ja das Gewicht bald positive, bald negative Arbeit leistet, und keine Arbeitsquelle enthält, während der Mensch in der Oxydation der Speisestoffe in sich eine Arbeitsquelle enthält, die er mit und gegen den Willen in Arbeit vom selben Vorzeichen verwandelt. Es muß daher der unmittelbar von meinem Willen ausgelöste Energieumsatz immer meinem Willen gemäß vor sich gehen, erst bei den späteren sekundären Wirkungen kann es fraglich werden, ob sie meinem Willen entsprechen oder nicht.

Wenn ich eine Differentialgleichung integriere, so erfolgen die Bewegungen meines Bleistifts immer genau meinen Willensimpulsen gemäß, nur das Schlußresultat kann dann von dem gewünschten verschieden sein. Es sind also sehr häufig nicht die Energiebetätigungen als solche, von denen unser Glück oder Unglück abhängt, sondern die von unserem Willen unabhängigen Konsequenzen, die sich später sekundär daran knüpfen; ja die Energiebetätigung selbst kann gar nicht in eine unserm Willen entsprechende und eine ihm entgegengesetzte eingeteilt werden, sondern nur jene späteren Konsequenzen, die gar nicht mehr unsre eigene Energieausgabe sind. Nicht eine widerwillige Energieausgabe, sondern nur die Überzeugung (vielleicht manchmal die Furcht), daß unsere Energiebetätigung später nicht die von uns gewünschten Konsequenzen nach sich ziehen wird, macht uns unglücklich. Wenn wir durch Furcht vor Strafe oder vor anderem drohenden Unheil gezwungen werden, gegen unsern Willen Energie auszugeben, so wächst unser Unglücksgefühl gar nicht mit der verausgabten Energie; das Unglücksgefühl ist noch größer, wenn wir gar nichts zur Abwehr des Unheiles

Daher kommt es auch, daß nicht nur zu unserm momentanen Wohlbefinden, sondern geradezu zu unserm Glücksgefühle Dinge beitragen, die gar nicht von unserm Willen abhängig sind, z. B. schlechte Verdauung oder eine Leberkrankheit zu unserem Unglücke, ein Glas guten Weines, nach Ostwald auch fortschreitende Paralyse zu unserem Glücke. Freilich sagt Ostwald, dies käme daher, daß uns W im erstern Falle vergrößert, im letztern verkleinert erscheint. Aber der Unbefangene wird kaum in Abrede stellen können, daß sich die Sache umgekehrt verhält. Nicht weil ihm W vergrößert erscheint, fühlt sich der Leberkranke unglücklich, sondern weil er sich durch rein physiologische Agentien, denen es gewiß nicht einfiele, einer mit oder einer gegen den Willen verausgabten Energie proportional zu sein, unglücklich fühlt, erscheint ihm W vergrößert, erscheint ihm alles so trübselig. Wenn es ihm nun gelingt, durch Einnahme von Pillen das Übel zu beseitigen, so hat er dabei vielleicht sehr wenig Energie aufgewandt und doch sein Glücksgefühl enorm verbessert. Eher hätte es daher noch einen Sinn, die Energie nicht in gemäß und gegen den Willen verausgabte zu spalten, sondern jede Energiemenge mit dem Grade ihrer Gewolltheit zu multiplizieren, der im ersteren Falle positiv, im letzteren negativ anzunehmen wäre und dann die Summe dieser Produkte an Stelle von Ostwalds $E-W$ zu setzen; aber auch das ginge nicht, da nicht die Energieausgabe, sondern erst ihre Folgen das gewollte sind. Die Erklärung, warum bei schlechter Verdauung W so groß, im Weinrausche oder bei Paralyse so klein erscheint, bleibt Ostwald schuldig.

Ich hätte noch viele, mehr ins Detail eingehende Bemerkungen zu machen. So müßten die vom subjektiven Gefühle, vom persönlichen Faktor abhängigen Nullpunktsverschiebungen des Niveaus, von dem aus die Differenz $E - W$ gemessen wird, in der Formel Ausdruck finden; denn eine Formel hat doch den Zweck, Unbekanntes durch Bekanntes, nicht durch anderes Unbekanntes auszudrücken. Ebenso müßte in einer Formel, die Anspruch auf Brauchbarkeit erhebt, die allbekannte, nicht in Ostwalds Formel, sondern erst in den Erläuterungen enthaltene Nachwirkung vorausgegangenen Glücks oder Unglücks auf unser momentanes Glücksgefühl enthalten sein, welche dieses mit allen übrigen

Gefühlen gemein hat. Ich meine, daß uns das plötzlic Auffinden eines verloren geglaubten Gegenstandes glüc lich macht, gerade so, wie uns nach Aufenthalt in eine finstern Raume ein Raum von normaler Helligkeit blende hell erscheint. Was nützt eine Formel, wenn ein Umstan der für das momentane Glücksgefühl so wichtig ist, dar gar keinen Ausdruck findet, sondern erst nachträglich n Worten dazu bemerkt werden muß!

Doch ich würde fürchten, langweilig zu werden, we ich noch weiter ins Detail eingehen würde. Ich resümiere daher kurz. Bei unbefangener Analyse scheint mir der ganze Inhalt der Ostwaldschen Formel einfach der zu sein, daß wir uns um so glücklicher fühlen, je mehr (E) unserm Willen gemäß und je weniger (W) gegen unsern Willen geschieht.[1]) Dazu fügt Ostwald freilich noch den Faktor $E+W$, also die Behauptung, daß sich energischere Menschen im Glücke glücklicher, im Unglücke unglücklicher fühlen, als solche von weniger Energie. Das dürfte auch gerade keine epochemachende Entdeckung sein. Zudem wäre es noch zu beweisen; buddhistische Heilige dürften das Gegenteil behaupten. Man bedenke auch noch, daß wir es hier nicht etwa mit der moralischen, sondern mit der chemisch-physikalischen, der Verbrennungswärme der Nahrungsmittel proportionalen Energie zu tun haben, so daß dieser Faktor hauptsächlich für die Herkulesse der Schaubuden und für körperlich schwer Arbeitende große Werte hat.

Es scheinen mir auch sämtliche Betrachtungen, welche Herr Ostwald anstellt, keineswegs organisch aus seiner Formel herauszuwachsen, eine Analyse derselben im Sinne der analytischen Geometrie oder Mechanik darzustellen, sondern vielmehr nur in losem Zusammenhange mit der Formel zu stehen. Ich möchte sagen, der Name Energie wird in der ganzen Abhandlung eitel genannt. Es kommt mir vor, als ob jemand sagen würde, die Schönheit der Musik sei ge-

1) Daher kann ich mir auch unmöglich denken, daß jemand aus dieser Formel praktische, fürs Leben nützliche Winke erhalten hatte, die dazu beitrugen, ihn glücklich zu machen. Die Formel sagt ja nur 1. sei energisch und 2. sieh zu, daß alles deinem Willen gemäß verläuft, und ich glaube, soviel weiß jedermann auch ohne eine mathematische Formel.

messen durch $(E - W)(E + W)$, wobei E die in Übereinstimmung mit dem guten Geschmacke, W die wider denselben verausgabte Schallenergie ist, wobei der Faktor $E - W$ ausdrücken soll, daß Musik um so schöner ist, je mehr sie dem guten Geschmacke entspricht, der Faktor $E + W$ aber, daß überhaupt starke Musik im allgemeinen auch stärker wirkt, als zu schwache. Freilich ohrenbetäubende würde dann wieder dem guten Geschmacke zuwiderlaufen, für sie wäre also W wieder sehr groß, daher $E - W$ klein, oder selbst negativ.

Warum erscheint mir nun ein scheinbar so harmloser Aufsatz, wie der besprochene Ostwaldsche für die Wissenschaft so gefährlich? Weil er einen Rückfall in das Wohlgefallen am rein Formalen bedeutet, in die für den Fortschritt so verderbliche Methode der sogenannten Philosophen, Lehrgebäude aus bloßen Worten und Phrasen zu konstruieren und bloß auf eine hübsche formale Verflechtung derselben Gewicht zu legen, was man rein logische oder gar aprioristische Begründung nannte, ohne darauf zu achten, ob diese Verflechtung auch genau der Wirklichkeit entspricht und in den Tatsachen genügend begründet ist, einen Rückfall in die Methode, sich von vorgefaßten Meinungen beherrschen zu lassen, alles unter dieselben Einteilungsprinzipe beugen, in dasselbe System künstlich hineinzwängen zu wollen, die wahre Mathematik vor lauter algebraischen Formeln, die wahre Logik vor lauter anscheinend schulgerecht gebauten Syllogismen, die wahre Philosophie vor lauter philosophisch sich herausputzenden Krimskrams, den Wald vor lauter Bäumen nicht sehen zu wollen, eine Methode, die leider der Menge immer sympathischer sein wird, als die der Phantasie weniger Spielraum gebende naturwissenschaftliche.

Das stete Wachstum der Wissenschaft macht die volle Kenntnis des ganzen Umfangs auch nur eines beschränkten Spezialgebietes für einen einzelnen zur Unmöglichkeit; aber daß eine für ein Wissensgebiet epochemachende Arbeit erscheint, welche der Behandlung desselben ganz neue Bahnen weist, und nicht ein für dieses Gebiet angestellter Professor in ganz Deutschland, wahrscheinlich auf dem ganzen europäischen Kontinent, dieselbe versteht, ja, daß alle diese Professoren ohne jede Ausnahme so wenig Kenntnis besitzen, daß ihnen mehr als die Hälfte der Abhandlung geradezu ein spanisches Dorf bleibt, das ereignete sich beim ersten Erscheinen der Abhandlung Gibbs „On the equilibrium of heterogeneous substances“ wohl zum ersten Male.

Innerhalb des seither verflossenen Vierteljahrhunderts ist die Sache besser geworden. Der Wortlaut der Gibbsschen Abhandlung wurde von Ostwald ins Deutsche, der Sinn derselben von Planck ins Deutsche, von Duhem ins Französische übersetzt und von ihnen und anderen so fort gebildet und erweitert, daß daraus ein neuer Zweig der Chemie entstand, für den bereits eigene Lehrkanzeln errichtet wurden;

drei Professoren dafür wurden allein nach Berlin berufen, von denen freilich einer absagte; Bücher, die ihn behandeln, schießen eines nach dem andern wie Pilze aus der Erde.

Eines der besten unter den letzteren ist das mir vorliegende. Die Aufgabe, die diese Bücher zu lösen haben, ist keine leichte. Erstens ist es allemal viel leichter, den Inhalt einer wenigstens in den wesentlichen Teilen abgeschlossenen Wissenschaft zur Anschauung zu bringen, als von dem augenblicklichen Stande einer gerade in Entwicklung begriffenen ein Momentbild zu liefern, Zweitens ist auch der Begriff des neuen Zweiges der Chemie noch ein außerordentlich schwankender und der übrigen Chemie gegenüber so unbestimmt abgegrenzt, wie etwa der der theoretischen Physik gegenüber der experimentellen. Ja selbst der Name dieses Zweiges ist schwankend; er hieß zuerst physikalische, dann theoretische, manchmal sogar mathematische Chemie. Unter dem ersteren wie unter dem letzteren Namen will der Verfasser des vorliegenden Buches nur spezielle Kapitel der theoretischen Chemie verstanden wissen.

Manchen würde es auch befremden, daß die experimentelle Bestimmung der Dichte fester, flüssiger und dampfförmiger Körper, der inneren Reibung, Diffusions- und Wärmekonstante, der Licht- und Wärmeemission, sowie alle möglichen elektrischen und magnetischen Messungen in der theoretischen Chemie behandelt werden, während der Physiker doch alle diese Dinge aus der theoretischen in die Experimentalphysik verweisen würde. Ja es macht den Eindruck, als ob für den Chemiker Theorie und Physik fast identische Begriffe wären, so daß ihm alles, was der Physik verwandt ist, -- theoretisch vorkommt.

Am ersten würde man dem augenblicklich üblichen Sprachgebrauche vielleicht durch folgende Definition gerecht werden: Die allgemeine Chemie ist die Aufzählung aller bekannten chemischen Verbindungen der Elemente, die Lehre, wie sie zusammengesetzt sind, wie man sie qualitativ und quantitativ analysiert, aus ihren Elementen herstellt und die eine in die andere überführt. Alles andere ist theoretische Chemie.

In dieser letzteren Wissenschaft kann man daher selbstverständlich eine so systematische Gliederung des Stoffes,

e sie in der theoretischen Physik längst üblich ist, nicht warten.

Die Methode, nach welcher die theoretische Chemie in m vorliegenden Buche behandelt wird, hat einen scharf sgeprägten Charakter. Der Verfasser setzt sich in den roffsten Gegensatz zu der heute oft empfohlenen sogennten Phänomenologie, d. h., der Methode, alles hypoteche möglichst zu vermeiden. Er macht sich vielmehr von r Natur der Atome und Moleküle, der zwischen ihnen rkenden Kräfte und Agenzien eine möglichst konkrete, anauliche Vorstellung, welche er den neuesten Erfahrungen f diesem Gebiete, so den Erfahrungen über die durch die nen und Elektronen bedingten Erscheinungen, über die rahlungserscheinungen usw., anzupassen sucht.

Wenn er auch sicher nicht beanspruchen kann und will, ß sich alle Details dieser hypotetischen Bilder für immer der Wissenschaft erhalten werden, so liefert er doch den weis, wie sehr anschauliche Bilder der zusammenhanglosen, r mit einer vagen verschwommenen Klassifikation verbunnen Schilderung der Tatsachen überlegen sind, sowohl s leichtes Erfassen des experimentell Gefundenen, als auch s die Vorhersagung neuer Tatsachen, also besonders den uristischen Wert betrifft, wenn man sich nur bemüht, die lder so zu gestalten, daß sie der Gesamtheit der beobachten Erscheinungen nach Tunlichkeit entsprechen.

Der Verfasser des vorliegenden Buches hält streng an m Dualismus von Materie und Energie fest, welche beide s gemein haben, daß für jedes ein besonderes Erhaltungssetz gilt. In Bezug auf die Materie hält er wieder an dem ualismus zwischen ponderablen Stoffen und Äther fest, welen letzteren er aber auch im strengsten Sinne als materiell trachtet.

Das gesamte Gebiet der theoretischen Chemie wird nach lgendem Plane eingeteilt. Der erste Band handelt zuvörrst von den Eigenschaften der Atome. Bezüglich Gestalt r Atome, Lage und Beschaffenheit der Valenzen, ihres Verltnisses zu den Elektronen usw. werden ganz bestimmte oraussetzungen gemacht.

— — — — — — — — — — — —

Als originell ist es zu bezeichnen, daß er die Gase

als verdünnte Lösungen von Materie in Lichtäther auffaßt und so die Analogien der Gasgesetze mit den für verdünnte Lösungen geltenden in eine neue Beleuchtung rückt.

Mit allem in dem Buche Vorgetragenen kann sich der Referent freilich nicht einverstanden erklären. Wenn z. B. der Verfasser die progressive Bewegung der Gasmoleküle als ein Schwimmen im Lichtäther auffaßt und die Wasserstoffatome förmlich als Schwimmorgane der Moleküle ansieht, so muß dies als eine phantastische unzulässige Vorstellung bezeichnet werden. Wenigstens würde eine solche Auffassung die gesamte Grundlage der Gastheorie total verschieben, denn das Charakteristische der Schwimmbewegung mit Schwimmorganen ist die stete Überwältigung eines Mittelwiderstandes, wogegen nach der Auffassung der Gastheorie die progressive Bewegung der Moleküle dem Trägheitsgesetze entsprechend vor sich geht, ohne im Weltäther einen Mittelswiderstand zu erfahren, wenn nicht gar die im Weltäther durch die Progressivbewegung der Moleküle erzeugten elektromagnetischen Erscheinungen erst die Quelle der Trägheit der Moleküle sind.

— — — — — — — — — — — — —

Der 2. Teil beginnt mit der wichtigen, aber noch immer hie und da nicht vollständig gewürdigten Wahrheit, daß zwischen einer chemischen Verbindung und einer Mischung zwar ein enormer quantitativer, aber kein qualitativer Unterschied besteht. Man bedenke, daß es Lösungen und Legierungen gibt, für welche eine Reihe von Eigenschaften für ein gewisses Mischungsverhältnis scharf ausgeprägte Maxima und Minima zeigt, und daß andererseits nach Helmholtz auch das Wasser selbst bei den tiefsten Temperaturen nicht ohne einige dissoziierte Wasserstoff- und Sauerstoffatome bestehen kann, so daß also im allgemeinen Wasserstoff und Sauerstoff darin nicht absolut genau im Verhältnisse der Atomgewichte vorhanden sein werden. Man wird dann begreifen, daß chemische Verbindungen nur dadurch charakterisiert sind, daß bei ihnen jene schon bei Legierungen vorhandenen Grenzwerte der Ordinaten für ein immer mehr verschwindend kleines Abscissengebiet immer mehr wachsen, wenn man das Mischungsverhältnis als Abscisse und das Maß der betreffenden Eigenschaft als Ordinate aufgetragen denkt.

— — — — — — — — — — — — —

Eine ausführliche Theorie der Photographie und einiger photoelektrischer Phänomene bildet den Schluß der der Optik geweihten Kapitel. Ein noch ausführlicherer Abschnitt ist, wie zu erwarten, der Elektrizität und dem Magnetismus gewidmet. Er beginnt mit einer kurzen aber modern gehaltenen Behandlung der allgemeinen Elektrizitätstheorie. Namentlich stellt er sich gleich von vornherein auf den Standpunkt, daß die elektrischen Erscheinungen durch die Wechselwirkung und Bewegung von atomähnlichen Individuen, den Elektronen, bedingt sind und z. B. die metallische Leitung eine Art Elektrolyse ist, wobei die Elektronen die Anionen, die ponderablen Moleküle die Kationen bilden.

Originell ist, daß er alle elektrischen Erscheinungen auf Reibungselektrizität, Reibung der Elektronen an den ponderablen Teilchen, zurückführt. In dieser Weise werden der Reihe nach die Thermo-, Pyro-, Piezo- und Aktinoelektrizität, die dielektrischen Erscheinungen, die Kontaktelektrizität, Polarisation, Elektrolyse, galvanische Induktion, Lichtbogen, Nernstlampe, Kathoden-, Röntgenstrahlen, Hertzsche Wellen, Radiumstrahlen und Wiedemannschen Strahlen erklärt, und es wäre wohl schwer, eine Beziehung aller dieser Erscheinungen zum Chemismus zu finden, die in dem Buche nicht ausführlich behandelt wäre. Den Schluß bildet eine kurze Theorie des Magnetismus, die Darstellung der Beziehungen zwischen chemischer Zusammensetzung und magnetischer Suszeptibilität, ein Kapitel über Atom- und Molekularmagnetismus, magnetische Drehung der Polarisationsebene, Zeeman- und Halleffect.

Es wird gewiß jeder in dem Buche reiche Belehrung finden, der Auskunft sucht über irgend eine Tatsache des ausgedehnten Gebietes, wo die Chemie sich der Physik zu nähern beginnt, oder wo umgekehrt die Physik nicht ohne Beiziehung der Begriffe der Chemie auskommt. Was aber die Spekulationen und hypothetischen Bilder anlangt, die der Verfasser zur Erklärung und anschaulichen Darstellung der Erscheinungen, teils einer uralten Tradition folgend, aufgenommen, teils selbst neu ersonnen hat, so ist ja manches daran gewiß ein wenig phantastisch. Trotz alledem möge er sich durch die moderne atomistischen Betrachtungen abholde Strömung nicht irre machen lassen. Das belebende und be-

fruchtende, das allein Neues hervorbringende Prinzip in der wissenschaftlichen Forschung ist ja einzig und allein die Phantasie, und so sei es mir gestattet, dem Verfasser zum Abschiede jene Verse Schillers zuzurufen, die, wenn ich nicht ganz irre, schon vor langem einmal Kekulé in einer Rede auf eines der ältesten Gebiete der theoretischen Chemie, auf die molekular-theoretische Veranschaulichung der Zusammensetzung der Benzolderivate angewendet hat:

„Wage du zu hoffen und zu träumen,
Tiefer Sinn liegt oft im kind'schen Spiel."

22.

Über eine These Schopenhauers.[1]

Geehrte Versammlung!

Ein Schriftsteller hat einmal gesagt, bei einer literarischen Leistung sei das wichtigste, daß man ihr den richtigen Titel gibt. Bei einem Roman und Theaterstück sei der Erfolg in Frage gestellt, wenn der Titel schlecht gewählt ist. Wenn dies auch bei einem philosophischen Vortrage zutrifft, so bin ich heute schlecht daran.

Ich will über Schopenhauer sprechen; um nun dem Vortrage ein Lokalkolorit zu geben, wollte ich schon im Titel den Stil Schopenhauers nachahmen. Dieser zeichnet sich besonders durch die Ausdrucksweise aus, welche man früher die des Naschmarkts nannte, jetzt könnte man sie auch die „parlamentarische“ nennen.

In diesem Sinne hatte ich für meinen Vortrag folgenden Titel gewählt: „Beweis, daß Schopenhauer ein geistloser, unwissender, Unsinn schmierender, die Köpfe durch hohlen Wortkram von Grund aus und auf immer degenerierender Philosophaster sei.“ Diese Worte sind ad verbum der vierfachen Wurzel usw., (3. von Frauenstädt herausgegebene Auflage, S. 40) entnommen, nur beziehen sie sich dort auf einen anderen Philosophen. Schopenhauers Stil wurde mit seinem Zorne wegen Übergehung bei Stellenbesetzungen entschuldigt. Frage: ist dieser Zorn oder meiner wegen der Sache der heiligere?

Nun, dieser Titel wurde mir kassiert, und zwar mit Recht. Denn was hätte ich in meinem Vortrage bieten sollen,

1) Vortrag, gehalten vor der philosophischen Gesellschaft in Wien, 21. Januar 1905.

wenn ich im Titel mein ganzes Pulver — hier wäre schon am Platze zu sagen Dynamit — verpufft hätte. Ich war aber zu bequem, mit Mühe nach einem zweiten völlig adäquaten Titel zu suchen, und so ist der in der Einleitung gedruckte Titel zustande gekommen, welcher der Sache nicht ganz entspricht.

Ich will nicht über eine These „Schopenhauers", ich will über sein ganzes System vortragen. Aber beileibe keine komplette Kritik, sondern nur abgerissene Gedanken darüber.

Was ich vorbringen werde, ist vielleicht nichts Neues. Wollte ich das konstatieren, so müßte ich die Werke aller der verschiedenen Philosophen durchgehen, und da bin ich in einer Verlegenheit. Ich weiß nicht einmal recht, was Philosophie ist. Das passiert auch bei den anderen Wissenschaften, daß man keine strenge Definition ihres Begriffes geben kann, aber man kennt doch die Objekte, mit denen sie sich beschäftigen. Bei der Philosophie aber, da weiß ich nicht einmal recht, ob sie sich durch die Objekte ihres Forschungsgebietes von den anderen Wissenschaften unterscheidet, ob sie z. B. die Erforschung der psychischen Erscheinungen ist, oder ob sie sich bloß in der Methode von anderen Wissenschaften unterscheidet.

Ich will mich nicht mit dieser Frage näher beschäftigen. Ich verstehe vielmehr ohne Rücksicht auf die Definition der Philosophie unter Philosophen diejenigen Schriftsteller, die man bisher so gemeinhin mit diesem Namen bezeichnete.

In den Werken dieser Philosophen ist viel Zutreffendes und Richtiges enthalten. Zutreffend und richtig sind ihre Bemerkungen, wenn sie über andere Philosophen schimpfen, nur was sie selbst hinzutun, hat diese Eigenschaft meist nicht. Wenn ich daher jetzt verschiedenes gegen Schopenhauer sage, so bin ich überzeugt, daß sich vieles schon bei den anderen Philosophen findet. Ich kann nur wünschen, daß von dem, was ich neues sage, das nicht gelte, was ich über das bei den Philosophen vorkommende Neue bemerkte.

Bekannt ist der alte Streit zwischen Idealismus und Materialismus. Der Idealismus behauptet nur die Existenz

les Ich, die Existenz der verschiedenen Vorstellungen, und ucht daraus die Materie zu erklären. Der Materialismus geht on der Existenz der Materie aus und sucht daraus die Empfindungen zu erklären.

Schopenhauer sucht über diese Gegensätze hinweg u kommen, indem er sagt, die Existenz der ganzen Welt eruhe auf dem Subjekt und Objekt. Das Subjekt sei für ich allein gar nichts, ebenso das Objekt sei für sich allein ar nichts. Nur in der Beziehung zueinander existieren sie. Ein Objekt könne nur relativ auf das Subjekt existieren und mgekehrt.

Die Sache wird dadurch noch verwickelter, daß er animmt, daß das Subjekt sein eigenes Objekt sein kann. Dann at man wieder bloß ein Subjekt und kein Objekt. Er klärt lies in der folgenden Weise auf: „Das erkennende Subjekt ann nicht Objekt sein, aber das wollende Subjekt kann Objekt sein, dann ist das Subjekt gespalten in ein wollenles und ein erkennendes. Das wollende ist Objekt des erennenden. Fragen nach einer näheren Erklärung schneidet r ab, indem er sagt: das sei der Weltknoten, den man icht lösen kann.

Schopenhauer geht dann über zu dem, was Kant die Formen der Anschauung nennt, zu Zeit und Raum. Ich will seine Worte zitieren: „Wäre die Zeit die alleinige Form der Anschauung, so gäbe es kein Zugleichsein und deshalb nichts Beharrliches, keine Dauer. Denn die Zeit wird nur wahrgenommen, sofern sie erfüllt ist, und ihr Fortgang nur durch den Wechsel des sie Erfüllenden. Das Beharren eines Objektes wird daher nur erkannt durch den Gegensatz des Wechsels anderer, die mit ihm zugleich sind; die Vorstellung des Zugleichseins ist in der bloßen Zeit nicht möglich. . . .

Wäre dagegen der Raum die alleinige Form der Anschauung, so gäbe es keinen Wechsel; denn Wechsel oder Veränderung ist Sukzession der Zustände, und Sukzession ist nur in der Zeit möglich. Daher kann man die Zeit auch definieren als die Möglichkeit entgegengesetzter Bestimmungen an demselben Dinge. Wir sehen also, daß die beiden Formen der empirischen Vorstellungen, obwohl sie bekanntlich unendliche Teilbarkeit und unendliche Ausdehnung gemein haben, doch grundverschieden sind, indem das, was der einen

wesentlich ist, in der andern gar keine Bedeutung hat, das Nebeneinander keine in der Zeit, das Nacheinander keine im Raume."

Ich glaube, Sie werden zugeben, daß da wenig wirklicher Gehalt darinnen ist. Es heißt eigentlich nur: „Zeit ist Zeit, Raum ist Raum."

Man hat heute in der Lehre von Raum und Zeit wirklich wesentliche Fortschritte gemacht gegenüber diesem Schopenhauerschen Standpunkte. Namentlich den Raum hat man, bloß gestützt auf den Zahlbegriff, ohne jede Zuhilfenahme der Anschauung konstruiert; man konnte konstatieren, welche Eigenschaften dem Raum blieben und welche sich änderten, wenn man dieses oder jenes der geometrischen Axiome fallen ließe, mit welchen Raumerfahrungen daher speziell jedes der geometrischen Axiome zusammenhängt, und daß eigentlich keines derselben a priori evident sei.

Überhaupt war Schopenhauer in dem, was er als aprioristisch bezeichnete, keineswegs besonders glücklich. So bezeichnete er es als aprioristisch klar, daß der Raum drei Ausdehnungen hat. Heute wissen die Forscher, daß „a priori" ein mehr als drei dimensionaler Raum denkbar, daß auch ein nicht Euklidischer Raum nicht undenkbar ist. Natürlich handelt es sich nicht darum, ob der erfahrungsgemäße Raum ein Euklidischer ist oder nicht, es handelt sich vielmehr darum, was a priori evident, was bloßer Erfahrungssatz ist.

Ebenso folgert Schopenhauer aus dem Satze vom zureichenden Grunde, daß das Gesetz der Erhaltung der Materie a priori klar wäre. Gerade über dieses Gesetz hat Landolt Versuche angestellt, welche es anfangs zu widerlegen schienen. Heute ist es freilich wahrscheinlicher, daß sie dem Gesetze von der Erhaltung der Materie nichts werden anhaben können. Allein es handelt sich hier nicht um das Resultat der Versuche, vielmehr bloß darum, ob überhaupt Versuche die Macht hätten, das Gesetz zu widerlegen, ob die Logik dem Zeiger der Wage Landolts seinen Weg vorschreiben kann.

Zum zweiten Male sind Zweifel an der Richtigkeit dieses Gesetzes gelegentlich des Verhaltens des Radiums aufgetaucht. Ich bin der Überzeugung, daß auch diese Versuche das Gesetz bestätigen werden. Aber es ist das ein Be-

weis, daß es kein aprioristisches Gesetz ist. Wenn es nicht gelten würde, könnten wir vom logischen Standpunkte nichts entgegnen.

Schopenhauer stützt sich darauf, daß, wenn es erfahrungsgemäß nicht gelten würde, wir zum Begriffe der Materie überhaupt nicht kommen könnten. Die Materie ist uns allen das Bleibende, nur dadurch können wir zu diesem Begriffe kommen. Aber daraus folgt nicht, daß eine Ausnahme nicht vorkommen kann. Wenn Landolts Versuche das Gegenteil nachweisen würden, dann müßte man eben die Idee von der Materie ändern und sie im allgemeinen als bleibend, in einzelnen Ausnahmefällen aber als veränderlich ansehen.

Nun will ich speziell zur Rolle übergehen, welche bei Schopenhauer der Wille spielt. Schopenhauer meint da, daß, „wenn ein Stein zur Erde fällt, dies ebenso ein Willensakt ist, wie wenn ich selbst etwas will. Weil ich aber in mir drin stecke, weiß ich, daß es ein Willensakt ist. Wenn ich ins innerste Wesen des Steines blicken könnte, so sähe ich, daß er ebenso einen Willen hat. Es ist dies eine ganz geistreiche Bemerkung, aber wenn Schopenhauer jetzt fest überzeugt ist, dadurch, daß er für die Kräfte in der anorganischen Natur dasselbe Wort Wille verwendet, wie für gewisse psychologische Prozesse, die wir an uns selbst erfahren, habe er einen kolossalen Fortschritt in der Naturerkenntnis gemacht, so gibt er sich denn doch einer etwas naiven Illusion hin. Wir werden besser das Wort „Wille" für den bewußten Trieb zu handeln, bei den Menschen und höheren Tieren reservieren und nicht auf Pflanzen und Steine anwenden, um für jedes der Phänomene ein charakteristisches Wort zu haben, ohne zu fürchten, daß wir deswegen daraus minder klug würden, als Schopenhauer aus seiner Vorstellungsweise.

In einer noch sonderbareren Weise wird von Schopenhauer der Begriff der „Freiheit" hereingebracht. Der Wille sei als Subjekt, als Ding an sich notwendig unbedingt frei, da auf das Ding an sich das Kausalgesetz gar keine Anwendung habe. Es stehe ihm vollständig frei unter anderen äußeren Umständen wieder ganz anders zu handeln. Die Handlungen des Willens aber, seine Manifestationen oder Objektivationen unter gegebenen Umständen seien durch

diese vollständig determiniert, also vollkommen unfrei, und aus der Freiheit des Willens als Ding an sich erkläre sich das dunkle Gefühl, daß auch unsere Handlungen frei seien.

Nur eine Hintertür läßt er auch für diese offen, daß, wenn der Wille die eigene Vernichtung anstrebt, er von nichts mehr abhängig ist, und daß dann ein Moment der Freiheit eintrifft.

Daß die Betrachtungen Schopenhauers geistreich gemacht, zu lebhaftem Spiele des Witzes und der Gedanken anregend sind, aber doch keine bleibende Wahrheit enthalten, zeigt sich in ihrer Anwendung. Er wendet sie an auf die verschiedenen Künste. Diese sollen die Befreiung des Willens von der Objektivität sein, dessen Läuterung von allem besonderen, speziellen. Die Architektur ist die Kunst der festen Körper, die mit festen Körpern arbeitet, ihr gegenüber stellt er die Wasserkünste, die mit den tropfbarflüssigen Körpern arbeiten, die Gartenkunst, die mit den Pflanzen arbeitet und eine Reihe von Künsten, die mit den Menschen und Tieren arbeiten. Eine Kunst, die mit den gasförmigen Körpern arbeitet, vergißt er ganz. Das wäre also, ich weiß nicht, ob eine Kunst, sich Luft zuzufächeln oder eine Kunst, die mit Gerüchen arbeitet, die also die Aufgabe hätte, den Geruchsinn in künstlerischer Weise anzuregen. Eine solche Kunst gibt es nicht, woraus aber noch nicht folgt, daß sie logisch widersinnig wäre. Ihr dürfte an Wichtigkeit freilich noch die Kochkunst vorangehen, oder besser ausgedrückt die künstlerische Einwirkung auf den Geschmackssinn.

Die von Schopenhauer dann weiter erwähnte Reihe von Künsten ahmt zunächst die Natur sichtbar nach. So die Plastik, der freilich die Schneider- und Coiffeurkunst in Punkto Selbständigkeit vielleicht gar noch über ist. So die Landschafts-, Pflanzen- und Stillebenmalerei; die sich daran anschließende Tier- und Menschenmalerei, welche mit der Tierplastik zusammen zum ersten Male bewegte Objekte, wenn auch nur in einer Fase der Bewegung darstellen. Die Menschenmalerei ist Porträtierkunst, Malerei erdachter dramatischer Szenen oder Historienmalerei, in der jedoch nur der rein menschliche, nicht der geschichtliche Wert des Dargestellten in Betracht kommt.

Den Übergang zur Dichtkunst bildet die symbolische

Plastik und Malerei, da die Dichtkunst nur durch Gedankensymbole wirkt. Ihre subjektivste Form ist die Lyrik, dann kommen alle Formen dichterischer Erzählungen in Prosa und Versen, endlich die objektivste Poesie, die dramatische, die aber gerade wieder die Malerei, Musik, den Tanz und die schauspielerische Darstellung zuzieht, welche letztere als die vollkommenste Plastik bezeichnet werden muß, verglichen mit der in Stein oder Erz.

Wir kommen endlich zur Musik. Diese ist nach Schopenhauer die direkte Darstellung des nicht objektivierten Willens, während jede andere Kunst zwar auch den Willen, aber nur indirekt eine einzelne Objektivierung desselben darstellt. Da wir nun nicht den Willen selbst, sondern nur dessen Objektivierungen wahrnehmen können, so können wir die Musik nicht gedanklich analysieren. Ich möchte beipflichten, daß die Musik etwas ganz besonderes vor den anderen Künsten voraus hat. Aber haltbar ist Schopenhauers Lehre in ihren Details nicht. Manches ist sogar direkt komisch. So, wenn der Grundbaß dem Mineralreiche, die tiefern Zwischenstimmen dem Pflanzenreiche, die höhern dem Tierreiche und der Diskant dem Menschenreiche gleichen soll. Die Musik ist nach Schopenhauer ein Spiegel der Welt, aber nicht ihre Abbildung, oder wie die anderen Künste die Abbildung eines Teils derselben, sondern sie steht der ganzen Welt gleichberechtigt gegenüber, indem die Welt die eine, die Musik eine mit andern Mitteln bewerkstelligte, aber davon unabhängige Manifestation des Weltwillens ist. Daher auch der paradoxe Satz, die Musik könnte auch bestehen bleiben, wenn die Welt nicht wäre. Freilich dann wären keine Geigen, keine schalleitende Luft, kein erregtes Ohr, keine empfindende Seele. Allein das sind nur die Kunstmittel, entsprechend dem Pinsel, Farbentopf, der Palette, Leinwand, dem Lichtäther, dem Auge und der Psyche des Schauenden bei der Malerei. Der Maler aber braucht dazu noch das Objekt, das er abmalt. Das braucht die Musik nicht, welche aus ihren Mitteln direkt das Bild des Weltwillens schafft. Freilich könnte man dasselbe auch von der Feuerwerkskunst oder einer Pflanzen nicht kopierenden Ornamentik oder einer praktischen Zwecken nicht dienenden Architektur, ja selbst von der Tanzkunst behaupten.

Wie im höchsten, so zeigt sich die Extravaganz Schopenhauers auch im geringfügigsten. So z. B. hat er eine furchtbare Antipathie gegen den Bart des Mannes. Er ist etwas Schlechtes, und zwar aus philosophischen Gründen. 1. Die Behaarung erinnert an das Tierreich, und daher muß der Mann die Behaarung der unteren Gesichtshälfte ablegen. 2. Der Bart ist eine Verlängerung desjenigen Teiles des Gesichts, welcher das Animalische darstellt, und die Kauwerkzeuge enthält. Dieser Teil des Gesichtes soll beschränkt werden. Drittens soll der Bart eine ganz tote, keine Nerven und Muskeln enthaltende Substanz sein, und es soll geschmacklos sein, wenn man so viel tote Substanz mit sich herumträgt.

So sucht Schopenhauer seine Ansicht ästhetisch zu begründen. Eine Erklärung, die näher liegt, wäre die gewesen, daß ein Gegner Schopenhauers, etwa einer, der sich seiner Ernennung zum Professor widersetzt hat, einen langen Bart getragen hätte. Man sieht, wie sich ein Philosoph, der die Ästhetik bloß vom theoretischen Standpunkte aus betrachtet, verirren kann. Das Resultat ist mit Gebrauch der Schopenhauerschen Ausdrucksweise: „Dummheit, Einfältigkeit, Albernheit, Pinselhaftigkeit, Torheit, verschrobener Unsinn, verbohrter Stumpfsinn, himmelschreiender Blödsinn.“ Ich hoffe, diese Dynamitladung genügt.

Nun komme ich zu demjenigen Gegenstande, der, wenn im Titel von einer These die Rede war, am ersten damit gemeint sein konnte. Es ist die Ethik.

Schopenhauer leitet aus seiner ganzen Willenslehre die Konsequenz ab, daß das Leben ein Unglück sei. „Denn es existiert nichts als der Wille. Der Wille aber muß immer etwas wollen, etwas erstreben. Solange er das Angestrebte nicht erreicht hat, ist er unbefriedigt, unglücklich. Wenn das Erstrebte erreicht ist, hört der Wille auf und das Glück auch. Entweder man strebt wieder nach etwas Neuem, ist wieder unbefriedigt, oder es kommt die Langeweile, der schlechteste Zustand. Also kann man sich nicht helfen, das Leben ist immer unglücklich. Die einzig richtige Ethik besteht darin, daß der Wille sich selbst leugnet, und daß man den Übergang zum Nichts vorbereitet. Das ist dann das Glück.“

Es ist dies einer alten Lehre der Inder entnommen, wo-

nach ganz merkwürdig geschlossen wird, daß das Seiende nicht in mehrere Dinge gespalten sein kann. Es müßte sonst das eine das sein, wie das andere nicht ist. Es ist aber ein Widerspruch, daß ein Seiendes zugleich etwas nicht ist. Ferner kann sich das Seiende nicht ändern. Es müßte sonst jetzt das nicht sein, was früher war, also wieder das Seiende nicht sein. Das wahrhaft Seiende muß also ein einziges, ewig unteilbares und ewig unveränderliches sein.

Nun bemerkt man aber, daß das Nichts alle diese Eigenschaften besitzt. Das Nichts ist einheitlich, es gibt nicht mehrere Nichts. Das Nichts ist auch nicht mit der Zeit veränderlich. Daher ist in Wirklichkeit das Nichts das Seiende, alles, was wir für seiend halten, das ewig in sich Gespaltene, mit sich Uneinige, sich selbst Bekriegende, unfaßbar im selben Momente, in dem es geboren ward, wieder Verschwindende ist aber in Wahrheit nichts. Nur weil wir selbst nichts sind, können wir den Schleier der Maja nicht lüften und halten das Nichts für etwas, das wahrhaft Seiende für das Nichts. Dies ist auch Schopenhauers Ansicht. Die Auflösung ins Nichts sucht er uns dadurch zu versüßen, daß er sie als Übergang ins eigentliche Sein darstellt.

Näheres darüber lehrt ein tieferes Eingehen in die Theorie des Nichts. Es ist zu unterscheiden:

1. Das nihil privativum, welches nur gegenüber gewissen Dingen nichts ist. Z. B. ich erwarte, daß sich in einem Schächtelchen Schmuck befindet, und sage enttäuscht, es ist nichts darin, obwohl Lichtäther, atmosphärische Luft, vielleicht sogar auch Baumwolle darin ist.

2. Das nihil negativum, das schon mehr nichts ist, als das Nichts sub 1, also etwas, was nichtser ist als nichts. Z. B. ich denke einen wirklich leeren Raum, selbst frei von Lichtäther. Allein auch dieser ist noch ein Gedankending, bloß relativ nichts, und man kann ihm die Idee des nihil absolutum gegenüberstellen, eines nichts, welches wirklich gar nichts ist, des Nirwana oder Pratschna Paramita der Inder. Wer so philosophiert, muß sich noch geschmeichelt fühlen, wenn man sagt, es kommt nichts dabei heraus; denn gerade das hält er ja für das eigentliche Etwas.

Aber lassen wir diese theoretischen Spekulationen, ob auch der Begriff des Nichts bloß ein relativer ist, ob etwas

bloß relativ gegen etwas anderes nichts sein könne, beiseite und fragen vielmehr nach den praktischen Konsequenzen. Da zeigt sich gerade die Lehre, daß die Ethik dazu führen soll, nach dem Nichts zu streben, nach der Entsagung, als verfehlt. Wenn diese unter den Germanen angenommen würde, würden wir zu Hindus werden, und die anderen Völker würden über uns herfallen.

Aber die Menschen waren so gescheit und haben Schopenhauer nicht geglaubt. Meiner Ansicht nach ist es vollkommen verfehlt, wenn man es als Aufgabe der Ethik betrachtet, aus metaphysischen Argumenten zu deduzieren, ob das Leben als Ganzes ein Glück oder Unglück ist. Dies ist für jeden einzelnen eine Frage seines subjektiven Gefühls, seiner körperlichen Gesundheit, seiner äußeren Verhältnisse. Kein Unglücklicher hat etwas davon, wenn wir ihm auch noch metaphysisch beweisen, daß das Leben ein Unglück ist. Wenn wir aber nach Heil- oder Linderungsmitteln der physischen und moralischen Gebrechen suchen, so kann wenigstens einigen Unglücklichen wirklich geholfen werden.

Die Ethik hat daher zu fragen, wann der einzelne seinen Willen behaupten darf, wann er ihn dem der andern unterordnen muß, damit die Existenz der Familie, des Volksstammes, der ganzen Menschheit und dadurch die aller einzelnen zusammen möglichst gefördert werde. Diese angeborene Fragelust aber schießt über das Ziel hinaus, wenn man fragt, ob das Leben überhaupt zu fördern oder zu hemmen sei. Wenn irgend eine Ethik bewirken würde, daß der ihr anhängende Volksstamm herabkommt, ist sie dadurch widerlegt. Nicht die Logik, nicht die Philosophie, nicht die Metaphysik, entscheidet in letzter Instanz, ob etwas wahr oder falsch ist, sondern die Tat. „Im Anfang war die Tat.“ Was uns zu richtigen Taten leitet, ist wahr.

Deshalb halte ich die Errungenschaften der Technik nicht für nebensächliche Abfälle der Naturwissenschaften, ich halte sie für logische Beweise. Hätten wir diese praktischen Errungenschaften nicht erzielt, so wüßten wir nicht, wie man schließen muß. Nur solche Schlüsse, welche praktischen Erfolg haben, sind richtig.

Freilich, wenn sich einmal eine Methode, zu schließen, durch Jahrtausende erprobt und vererbt hat, scheint sie uns

a priori richtig, und wir können oft lange mit ihr ohne praktische Erprobung weiter arbeiten, z. B. wenn wir vertrauen, daß uns die Rechnung richtiges ergibt; allein einmal muß sie durch Taten erprobt worden sein, und von Zeit zu Zeit muß sie wieder erprobt werden.

Ebenso unhaltbar, wie sich die Schopenhauerschen Gedanken erwiesen, scheinen mir nun auch die der sämtlichen anderen Philosophen in ihrem eigentlichen Kerne, inklusive Kant, zu sein, was zu erweisen mir freilich jetzt die Zeit fehlt.

Es entsteht nun die Frage: „War die Arbeit dieser großen Geister wirklich eine vergebene? Diese Frage muß ich verneinen, denn diese Philosophen haben noch viel naiveren Anschauungen ein Ende gemacht. Sie haben dadurch Nützliches geleistet, daß sie schlechte Ansichten wegräumten, deren Fehler aufdeckten und so einen Übergang zu klareren Ansichten verbreiteten.

Ähnliches ereignete sich ja oft auch auf dem Gebiete anderer Wissenschaften, wofür ich als Beispiel Wilhelm Weber anführe. Dieser hat eine Theorie der Elektrizität und des Magnetismus aufgestellt, welche heute als unrichtig erkannt ist; und doch gehört er zu denen, welche diese beiden Wissenschaften am meisten gefördert haben. Er hat die Anregung zu vielen Experimenten gegeben, durch die dann der Boden für die neue Theorie geebnet worden ist. Obwohl Webers Theorie heute nicht haltbar ist, ist er einer der größten Elektriker aller Zeiten.

Von diesem Standpunkte muß ich innigen Dank denen sagen, welche mich empfohlen haben zum Lehrauftrage für Philosophie, indem ich hierdurch Gelegenheit hatte, in die Literatur derselben tiefer einzudringen. Wie viele bisher wahren Nutzen aus meinen Vorlesungen geschöpft haben, kann ich nicht beurteilen. Aber ich habe den Trost, daß einer dabei viel gelernt hat, und das — bin ich selbst.

Eine andere Frage ist die, ob diejenigen, welche mich dazu empfohlen haben, auch mit mir zufrieden sind. Nun, wenn sie erwartet haben, daß ich in das alte Geleise eintreten und darin mitlaufen werde, haben sie sich freilich getäuscht. Vielleicht wäre dies nicht einmal wünschenswert. Es könnte

doch sein, daß ein Hecht im Karpfenteich größern Nutzen n hat, als noch ein Karpfen mehr.

Nach meiner Ansicht ist alles Heil für die Philosophie ie zu erwarten von der Lehre Darwins. So lange man an n einen besonderen Geist glaubt, der ohne mechanische Mittel tel imstande ist, die Objekte zu erkennen, an einen besonderen n Willen, der wieder ohne mechanische Mittel geeignet ist, st, das für uns Zuträgliche zu wollen, kann man die einfachsten n psychologischen Erscheinungen nicht erklären.

Erst wenn man einsieht, daß Geist und Wille nicht ht ein Etwas außer dem Körper, daß sie vielmehr kompli- li- zierte Wirkungen von Teilen der Materie sind, deren Wir- r- kungsfähigkeit durch Entwicklung immer vollkommener r wird, erst wenn man einsieht, daß Vorstellung, Wille und d Selbstbewußtsein nur die höchsten Entwicklungsstufen der- jenigen physikalisch-chemischen Kräfte der Materie sind, durch welche Protoplasmabläschen zunächst befähigt wur- den, solche Regionen aufzusuchen, die für sie günstiger sind, solche zu vermeiden, die ihnen ungünstig sind, wird einem in der Psychologie alles klar.

Man versteht dann, daß mit jeder Wahrnehmung, auch mit jeder Willensentschließung, rein mechanische Vorgänge verbunden sind, daß Empfindung und Wille sofort ganz ver- kehrt und unrichtig wirken, wenn diese mechanischen Vor- gänge gestört sind, daß sie ganz aufhören bei noch größerer Störung. Man versteht auch, daß in dem Momente, wo verschiedene Vorstellungen in Wechselwirkung treten, zwi- schen den ihnen entsprechenden Neuronen sich verbindende Fasern bilden, daß, wenn das Kind anfängt Gesichts- und Gehörsempfindungen zu kombinieren, sich Fasern zwischen den Gehirnzentren des Gesichts- und Gehörssinnes bilden, und ebenso zwischen den Gehirnzentren des Gesichts- und Tast- sinnes, und den motorischen Nerven, wenn es anfängt nach Gesehenem zu greifen.

Man versteht dann, wie in der Menschheit der Eigennutz das Vorherrschende ist, aber dabei doch der Trieb, sich für andere zu opfern, nicht ganz fehlt. Man versteht, warum der Eigennutz durch Gesetze eingeschränkt und bekämpft werden muß, dagegen der Trieb, sich für die Gesamtheit zu opfern, durch Lob und Belohnung in jeder Weise gefördert

wird. Man versteht, daß das angeborene Streben, selbständig zu sein, zu einem sonst ganz unbegreiflichen Eigensinne sich steigert, weil der Schwächling, in dem dieser Trieb zu schwach auftritt, im Kampfe ums Dasein unterliegt.

Betrachten wir ein anderes, ganz einfaches und banales Beispiel. Von der Urbevölkerung sind gewiß zahllose an Genuß von schlechtem Wasser gestorben. Die, welche Vorliebe für Fruchtsäfte hatten, waren im Vorteil. Aber auch die ungegorenen Fruchtsäfte konnten leicht Bakterien enthalten, so daß die, die eine Vorliebe für gegorene Säfte hatten, einen Vorteil im Kampf ums Dasein besaßen, und indem sich diese Vorliebe für gegorene Säfte durch Vererbung entwickelte, ist sie zu einer Gewohnheit geworden, die allerdings oft über das Ziel hinaus schießt. Ich muß gestehen, daß, wenn ich Antialkoholiker wäre, ich vielleicht nicht lebend aus Amerika zurückgekommen wäre; einen so heftigen Darmkatarrh hatte ich mir durch das dortige schlechte Wasser zugezogen; sogar die dort mit Mineralwasser-Etiketten versehenen Flaschen dürften meistens Flußwasser enthalten, und nur durch alkoholische Getränke wurde ich gerettet.

Wie wird es jetzt um das stehen, was man in der Logik Denkgesetze nennt? Nun, diese Denkgesetze werden im Sinne Darwins nichts anderes sein als ererbte Denkgewohnheiten. Die Menschen haben sich allmählich gewöhnt, die Worte, mit denen sie sich verständigen und die sie beim Denken still vor sich hin sagen, deren Gedächtnisbilder, und alles was an inneren Vorstellungen zur Bezeichnung der Dinge verwendet wird, so festzustellen und zu verbinden, daß sie dadurch befähigt wurden, jedesmal in die Erscheinungswelt in der beabsichtigten Weise einzugreifen und andere zu veranlassen, in der beabsichtigten Weise einzugreifen, d. h. sich mit ihnen zu verständigen. Diese Eingriffe werden durch das Aufbewahren und zweckmäßige Ordnen der Erinnerungsbilder und das Erlernen und die Einübung des Sprechens sehr gefördert, welche Förderung das Kriterium der Wahrheit ist.

Diese Methode, die Vorstellungsbilder und die still und laut gesprochenen Worte zusammenzustellen, hat sich immer mehr und mehr vervollkommnet und sich so vererbt, daß

sich feste Gesetze des Denkens entwickelt haben. Es ist ganz richtig, daß, wenn wir diese Denkgesetze nicht mitbringen würden, jedes Erkennen aufhören würde und die Wahrnehmungen ohne jeden Zusammenhang wären.

Da nun der Wille, d. h. das ererbte Streben in die Erscheinungswelt in einer für uns förderlichen Weise einzugreifen, die allmähliche Vervollkommnung der Vorstellungen bewirkt hat, so haben wir die Welt als Wille und Vorstellung, wie sie Schopenhauer sich nicht besser wünschen kann.

Man kann diese Denkgesetze aprioristisch nennen, weil sie durch die vieltausendjährige Erfahrung der Gattung dem Individuum angeboren sind. Jedoch es scheint nur ein logischer Schnitzer von Kant zu sein, daß er daraus auch auf ihre Unfehlbarkeit in allen Fällen schließt.

Nach der Darwinschen Theorie ist dieser Schnitzer vollkommen erklärlich. Nur das, was sicher war, hat sich vererbt. Was unrichtig war, ist abgestoßen worden. So erhielten diese Denkgesetze einen derartigen Anschein von Unfehlbarkeit, daß man sogar die Erfahrung vor ihren Richterstuhl stellen zu dürfen glaubte. Da sie nun aprioristisch genannt wurden, schloß man, daß alles aprioristische unfehlbar, vollkommen sei. Ebenso hat man früher angenommen, daß unser Ohr, unser Auge auch absolut vollkommen seien, weil sie wirklich sich zu staunenswürdiger Vollkommenheit entwickelt haben. Heute weiß man, daß es ein Irrtum ist, daß sie nicht vollkommen sind.

Analog möchte ich bestreiten, daß unsere Denkgesetze absolut vollkommen sind. Im Gegenteil, diese Denkgesetze sind uns so zur festen Gewohnheit geworden, daß sie über das Ziel hinausschießen und uns auch dann nicht loslassen, wenn sie nicht mehr am Platze sind. Sie verhalten sich hierin nicht anders, als alle vererbten Gewohnheiten.

So hat das kleine Kind den Saugtrieb, sonst wäre es unmöglich, daß es am Leben bleibe, und dieser Saugtrieb wird ihm so zur Gewohnheit, daß es später am leeren Kautschuk saugt. So schießen auch die Denkgesetze oft über das Ziel hinaus und der Philosoph sucht aus dem Begriffe des Nichts eine ganze Theorie der Welt herauszusaugen. Ebenso schießt die altbewährte und, wie schon das ewige Warumfragen kleiner Kinder zeigt, vererbte Gewohnheit stets

nach der Ursache zu fragen, über das Ziel hinaus, wenn wi nach der Ursache fragen, warum das Gesetz der Ursache und Wirkung gilt; ebenso wenn wir fragen, warum die Wel überhaupt existiert, warum sie gerade so ist, wie sie ist, warum wir überhaupt, warum wir gerade jetzt existieren usw

Eine besonders frappierende Erscheinung hierbei ist daß das Bedürfnis der Fragestellung und das quälende Gefühl, keine Antwort zu finden, nicht aufhört, wenn wir die Verfehltheit der Fragestellung klar erkannt haben. Allein gerade diese Erscheinung ist aus der Darwinschen Theorie vollkommen erklärlich; die Angewöhnung ist eben mächtiger als die Erkenntnis, daß die Frage unnütz ist. Auch Sinnestäuschungen verschwinden ja nicht, wenn man sie auch physikalisch oder physiologisch vollkommen erklärt hat. So tritt bei den philosophischen Problemen eine Verstandestäuschung ein.

Ebenso ist es mit dem Trieb zu klassifizieren. Dieser ist ja etwas sehr nützliches, und man muß suchen, die Klassifikation möglichst logisch zu gestalten. Dadurch entsteht der Trieb, alles zu klassifizieren, alles in ein Schema zu drängen, wie in ein Prokrustesbett, und es willkürlich kürzer zu schneiden oder zu verlängern, nur damit es in die vorgefaßte Idee vom Schema paßt.

So halten wir eine Menge von Begriffen für klar oder gar a priori gegeben, die eigentlich nur leere Worte sind. Wir meinen, weiß Gott wie gelehrt zu sein, wenn wir, ohne einen klaren Begriff mit den betreffenden Worten zu verbinden, fragen, ob etwas synthetisch oder analytisch, ob transzendental oder empirisch, real oder ideal oder materiell, ob es quantitativ oder qualitativ ist. Über solche Fragen können die Philosophen ganze Abhandlungen schreiben; nur ob sie sich über die Bedeutung der Fragestellung vollkommen

und ob etwas einen Wert hat, können wir nur relativ gegen das Leben beurteilen, nämlich, ob es geeignet ist, das Leben zu fördern oder nicht. Dabei reden wir natürlich dem einzelnen ein, nicht dasjenige habe für ihn Wert, was sein individuelles, sondern vielmehr das, was das Leben seiner Familie, seines Volksstammes, ja gar der ganzen Menschheit fördere. Da nun diejenigen, die das glauben (die Edeln), von der Gesamtheit in jeder Weise gefördert und belohnt werden, so haben sie mehr Chancen im Kampfe ums Dasein, und es vererbt sich der Edelmut wie leider auch der Eigennutz, der wieder in entgegengesetzter Weise Chancen bietet.

Wenn wir aber fragen, ob das Leben an sich einen Wert hat, heißt das: „Ob das Leben geeignet ist, das Leben zu fördern." Es ist das also eine Frage, die keinen Sinn hat. Gemäß der Definition können wir nur fragen: „Wie kann das Leben gefördert werden?" Das Wertvolle ist eben das, was das Leben fördert. Die Frage nach dem Werte des Lebens selbst hat keinen Sinn; daß sie sich uns aufdrängt, ist aber nach der Darwinschen Theorie leicht erklärlich. Es ist wieder ein über das Ziel Hinausschießen einer Denkgewohnheit.

In einem Briefwechsel, den ich über verwandte Fragen mit Professor Brentano führte, habe ich ein Gleichnis angewendet, welches zwar trival, aber zutreffend ist. Wenn man nämlich noch etwas herausbringen will, wo gar nichts mehr herauszubringen ist, so habe ich das, wie früher mit dem begierigen Saugen der Kinder am leeren Kautschuk, so nun verglichen mit dem Brechreiz bei Migräne, wo man auch den Drang hat, etwas herauszubringen, wo gar nichts mehr darinnen ist. Damit kann verglichen werden, wenn man zu bestimmen sucht, ob das Leben einen Wert hat, warum die Dinge gerade so sind wie sie sind usw. Ähnlich sagt Grillparzer:

Einer Mühle vergleich' ich den Verstand,
Die mahlt, was an Korn sie geschüttet fand;
Doch geschehen der Schüttungen keine,
So reiben sich selber die Steine
Und erzeugen Staub und Splitter und Sand.

Aufgabe der Philosophie der Zukunft aber ist nach meiner Ansicht, die Grundbegriffe so zu formulieren, daß man in

allen Fällen möglichst präzise Anweisungen zu zweckentsprechendem Eingreifen in die Ereigniswelt erhält. Hierzu gehört erstens, daß man niemals auf verschiedenem Wege zu verschiedenen Regeln zum Weiterdenken und Handeln gelangt, also nie auf innere Widersprüche stößt, wie wenn man auf einem Wege zu dem Schlusse kommt, daß die Materie nicht unendlich teilbar sein könne, und auf einem andern dazu, daß sie es sein müsse. Das ist immer ein Beweis, daß den Denkgesetzen noch die letzte Feile fehlt, daß wir die Worte schlecht gesetzt haben. Dann müssen wir eben die zu so absurden Konsequenzen führenden Denkgesetze modifizieren.

Auf gleiche Weise verfährt man in der Algebra. Die Rechnungsoperationen mit den negativen und gebrochenen Zahlen werden so definiert, daß man bei Anwendung der für positive ganze Zahlen geltenden Rechnungsregeln nirgends auf Widersprüche stößt.

Zweitens müssen die Denkgesetze uns überall erfahrungsmäßig zu den gewünschten Eingriffen in die Reihe der Begebenheiten führen.

Drittens muß dem unwiderstehlichen Drang, die Denkgesetze auch noch anzuwenden, wo sie über das Ziel hinausschießen, möglichst entgegengearbeitet werden, so daß er endlich allmählich ganz verschwindet.

Dafür, daß dies nicht absolut unmöglich ist, scheint die Geschichte zu sprechen. Es hat ja einmal eine Zeit gegeben, wo man, wie an ein logisches Denkergebnis, daran glaubte, daß es keine Gegenfüßler geben könne. Man hat immer gesehen, daß die Vertikalrichtung für alle Menschen parallel ist, und wenn einer entgegengesetzt steht, der Kopf auf dem Boden und die Füße in der Luft stehen. Dies wurde durch die fortwährende Erfahrung so zur Denkgewohnheit, daß man sich die Gegenfüßler gar nicht vorstellen konnte. Man hat auch geglaubt, daß es unmöglich ist, daß sich die Erde dreht, weil wir durch alle andern Drehungen, durch die der Erde aber nicht, schwindlig werden. Zur Zeit des Kolumbus und Kopernikus wurde geglaubt, daß das denknotwendig ist, und auch dem Kolumbus und Kopernikus wurde dies eingeredet. Aber heute sind diese Denkgewohnheiten geschwunden, und es begreift schon jeder Gebildete kaum mehr, wie man damals so borniert sein konnte.

Auch das Vorurteil gegen den nicht-euklidischen und vierdimensionalen Raum ist im Schwinden begriffen. Die meisten glauben noch, daß die Geometrie Euklids die einzig mögliche sei, daß die Summe der Winkel eines Dreiecks 180° sein müsse; aber es gibt schon verschiedene, welche eingesehen haben, daß dies zur Gewohnheit gewordene Denkvorstellungen sind, von denen man sich befreien könne und müsse.

Alle Denkgesetze müssen wir also so ändern, daß sie überall auf jedem Wege zu demselben Ziel führen, daß sie der Erfahrung entsprechen, und daß hinwiederum das übers Ziel Hinausschießen geziemend eingedämmt wird. Wenn man dieses Ideal auch niemals vollkommen erreichen wird, so kann man sich ihm doch nähern. Es würde dann diese Beunruhigung, dieses peinliche Gefühl aufhören, daß es ein Rätsel ist, daß wir vorhanden sind, daß die Welt überhaupt und daß sie gerade so ist, wie sie ist, daß es unbegreiflich ist, welche Ursache dieser regelmäßige Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung hat, usw. usw. Die Menschen würden von der geistigen Migräne, welche man Metaphysik nennt, befreit werden.

23.

Reise eines deutschen Professors ins Eldorado.

Da ich schon mehrmals in Amerika, einmal in Konstantinopel, Athen, Smyrna und Algier war, so fehlten mir auch nicht Aufforderungen, einige von meinen Reiseerlebnissen drucken zu lassen. Mir erschien alles doch zu unbedeutend; aber meine letzte Reise nach Kalifornien war schon eher etwas Exquisites und so soll denn eine kleine Plauderei darüber gewagt sein.

Ich will beileibe nicht etwa sagen, daß man durchaus nach Kalifornien reisen müßte, um Interessantes und Schönes zu sehen und sich zu freuen. Man kann auch bei einer Tour in den schönen Bergen unseres Vaterlandes so viel Lust und Freude empfinden als in einer Menschenbrust Platz hat. Man kann bei ganz einfachem Mahle so vergnügt sein wie ein König, aber eine Reise nach Kalifornien ist Champagner veuve Clicquot und Austern.

Der erste Teil meiner Reise stand unter dem Zeichen der Eile und in Eile soll er auch erzählt sein. Noch am 8. Juni wohnte ich der Donnerstagssitzung der Wiener Akademie der Wissenschaften in gewohnter Weise an. Beim Fortgehen bemerkte ein Kollege, daß ich nicht wie sonst nach der Bäckerstraße, sondern nach dem Stubenring mich wandte und fragte, wohin ich gehe. Nach San Franzisko antwortete ich lakonisch.

Im Restaurant des Nordwestbahnhofes verzehrte ich noch in aller Gemütlichkeit Jungsschweinsbraten mit Kraut und Erdäpfel und trank einige Gläser Bier dazu. Mein Zahlengedächtnis, sonst erträglich fix, behält die Zahl der Biergläser stets schlecht.

Kein einigermaßen Reisekundiger wird sich wundern, daß ich über das Essen und Trinken spreche. Es ist nicht nur kein unwesentlicher Faktor, es ist vielmehr der Angelpunkt. Das wichtigste auf der Reise ist, den Körper der ganzen Mannigfaltigkeit ungewohnter Einflüsse gegenüber gesund zu erhalten und vor allem den Magen, gar den verwöhnten Wienermagen. Kein Wiener wird ungerührt das letzte Gollasch mit Nockerl essen und konzentriert der Schweizer sein Heimweh in der Erinnerung an den Kuhreihen und die Herdenglocken, so der Wiener an das Geselchte mit Knödel. „Sagt nicht, das Alter machte mich kindisch, es fand mich eben noch als ein wahres Kind.“

Als ich mit der Mahlzeit fertig war, kamen meine Frau und meine Kinder mit dem schon vorgerichteten Reisegepäck. Adieu noch und fort ging es, zunächst zu den Akademie-Kartellsitzungen nach Leipzig, welche am nächsten Tag 10 Uhr vormittags begannen. Ich machte mich im Zug noch möglichst rein (da hätte ich die washing rooms der amerikanischen Bahnen brauchen können!), setzte mich nach Ankunft des Zuges in Leipzig sofort in eine Droschke und kam pünktlich zur Sitzung.

Am Tor der Aula traf ich gerade mit Kollegen Credner zusammen, der auch zur Sitzung ging und mir in liebenswürdigster Weise behilflich war, meine Gepäckstücke, die ich nirgends hatte absetzen können, in den Vorsaal des Sitzungszimmers hinaufzutragen.

Ich ging zu diesen Kartellsitzungen nicht ohne Angst; denn es sollte ein Gegenstand zur Sprache kommen, der für mich sehr bitter werden konnte.

Wird es den Leser langweilen, wenn ich ihn kurze Zeit in einer Werkstätte wissenschaftlicher Arbeit herumführe, um ihm die äußere Einrichtung zu zeigen und den Mechanismus etwas zu erklären; ich hoffe nicht. Heutzutage gibt es doch kaum einen Gebildeten, der nicht irgend eine größere, im Baedeker angeführte Eisenwaren- oder Leder- oder Glasfabrik gesehen hätte und ich finde die Befriedigung der Neugierde, wie die Gegenstände unseres täglichen Gebrauches in ihre uns so geläufige Form gebracht werden, ebenso unterhaltend als lehrreich. Warum sollte ich nicht auch einige Neugierde nach dem Mechanismus einer Fabrik voraussetzen, die,

ich darf es wohl sagen, für die menschliche Kultur wichtiger ist, als die größte Lederfabrik, hoffentlich nicht lederner.

Mehrere deutsche Akademien und gelehrte Gesellschaften haben sich zusammengetan, um jährlich gemeinsame Sitzungen zu halten und dort Gegenstände von allgemeiner Wichtigkeit zu besprechen. Dies ist das Akademie-Kartell. Dasselbe beschloß vor Jahren die materielle Unterstützung eines großen Buchwerkes, der Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften. Die Mathematik hat nämlich im vorigen Jahrhundert enorm an Umfang zugenommen; dabei hat jeder Autor seine besonderen Bezeichnungen und schreibt oft so schwer verständlich, daß nur die nächsten Fachgenossen mit größter Anstrengung folgen können. Doch ist in dieser schwer verständlichen, oft fast unauffindbaren, in der ganzen Welt zerstreuten mathematischen Literatur ungemein viel des Brauchbaren, auch für den Praktiker Nützlichen, ja fast Unentbehrlichen, vergraben.

Die wohlgeordnete Sammlung und möglichst leicht verständliche Darstellung alles dieses Materials ist nun die Aufgabe der besprochenen Enzyklopädie. Sie soll alles in der Mathematik geleistete für den Mathematiker leicht auffindbar machen und zugleich die Brücke zur Praxis bauen, also dem Praktiker die Mathematik, dem Mathematiker die Praxis näherrücken. Das Bedürfnis nach einer solchen enzyklopädischen Zusammenfassung der mathematischen Literatur springt so in die Augen, daß Professor Klein in Göttingen sie als mathematische Bedürfnisanstalt bezeichnet hat.

Ein solches Unternehmen wäre nicht so enorm schwierig, wenn es sich nur darum handelte, die hervorstechendsten Leistungen ohne allzu genaue Kritik anzuführen und das Allerwichtigste, natürlich aber auch Allerbekannteste, zu registrieren. Wenn man aber auf allen Gebieten alles wirklich Nützliche aus dem Verborgenen hervorziehen, alles Unwesentliche ausscheiden, möglichste Vollständigkeit in der Literaturangabe erzielen und dabei alles in übersichtlicher, für den Gebrauch des Lesers bequemer Form darstellen will, so erscheinen die Schwierigkeiten für jeden, der nur einigermaßen in die mathematische Literatur hineingeguckt hat, fast erschreckend. Den schon genannten Professor Klein lockte dies an, die Akademien geben Geld für die Druckkosten, die

Autorenhonorare und Reisediäten, Klein und sein wissenschaftlicher Stab besorgen die Arbeit.

Da gilt es für jedes Spezialgebiet unter allen Nationen des Erdballes denjenigen herauszufinden, der es am besten beherrscht. In der Tat arbeiten Deutsche und Franzosen, Russen und Japaner in Eintracht mit. Der Ausgewählte ist nun oft ein großer Herr, der genug Geld und wenig Zeit, vielleicht auch nicht allzuviel Arbeitslust, aber desto mehr Eigensinn hat. Er muß erstens bewogen werden, daß er einen Beitrag verspricht; dann belehrt und mit allen Mitteln der Überredungskunst dazu vermocht werden, daß er den Beitrag so abfaßt, wie er in den Rahmen des Ganzen paßt und last not least, daß er sein Versprechen auch rechtzeitig hält.

Die Beratungen, ob man einen Artikel, der sich besser später einreihen würde, schon jetzt bringen soll, weil man ihn eben schon hat und die, welche man vorausgehen lassen wollte, noch fehlen, nehmen Stunden in Anspruch. Reisen Kleins selbst und seiner Apostel nach allen Ländern der Welt werden nicht gespart, um den Artikelschuldigen mit der Wucht der persönlichen Rücksprache nicht zu verschonen. Eine Lücke blieb lange offen, weil der dafür Erkorene, ein mathematisch gebildeter russischer Offizier in Port Arthur eingeschlossen war. Ich habe solche Enzyklopädiesitzungen schon oft mitgemacht, von ihrer dramatischen Bewegtheit könnten die deutschen Bühnendichter profitieren.

Nun zu mir zurück. Schon als mir Klein einen Enzyklopädieartikel auftrug, weigerte ich mich lange. Endlich schrieb er mir: „Wenn Sie ihn nicht machen, übergebe ich ihn dem Zermelo. Dieser vertritt gerade die der meinen diametral entgegengesetzte Ansicht. Die sollte doch nicht in der Enzyklopädie die tonangebende werden, daher antwortete ich umgehend: „Ehe der Pestalutz es macht, mache ichs." (Sämtliche Zitate, meist aus Schiller zur Nachfeier des Schillerjahres, sind mit Anführungszeichen versehen; man weise sie nach!)

Jetzt aber ist die Zeit, wo mein Artikel fällig wird. Ich hätte gern mich im September von den Reisestrapazen auf dem Lande erholt, aber ich habe mein Wort gegeben, muß also im September in der Literatur wühlen und mit einer

kleinen Kohorte Wiener Physiker zusammen, den Artikel fertigstellen. „Ewigkeit geschworenen Eiden.“

Ähnlich scheint es auch Professor Wirtinger ergangen zu sein; denn als Emblem der Enzyklopädie zeichnete er eine Mausefalle; der Speck lockt und der Professor ist gefangen.

Was aber reizt zu dem ganzen Werke so unwiderstehlich? Besonderer Ruhm ist dabei nicht zu holen, mit Ausnahme dessen, etwas Nützliches geleistet zu haben; vom Gelde rede ich gar nicht. Was veranlaßt Klein mit einer psychologischen Kenntnis, um die ihn die Philosophen beneiden könnten, bei jedem, den er auf dem Korn hat, gerade den wunden Punkt zu treffen, wo er überredungsfähig ist? Doch nur der Idealismus, und tun wir die Augen auf, Idealismus finden wir überall bis an das stille Meer. Dort grüßen uns zwei weiße dicke Türme, die Licksternwarte, das Werk eines Idealisten und hundertfachen Millionärs; später mehr davon. Ich habe lange überlegt, was merkwürdiger ist, daß in Amerika Millionäre Idealisten, oder daß Idealisten Millionäre sind. Glücklich das Land, wo Millionäre ideal denken und Idealisten Millionäre werden! In allen Ehren dabei das Selchfleisch mit Knödel; Idealisten brauchen überall einen guten Magen.

Der Idealismus Kleins und seiner Mitarbeiter trug gute Früchte. Schon nach dem Erscheinen der ersten Hefte mußte die Auflage vermehrt werden; eine französische Übersetzung ist angefangen, eine englische wird bald folgen. Die Akademien haben einen guten Griff und der Buchhändler hat ein gutes Geschäft gemacht.

Die Berliner Akademie der Wissenschaften gehört leider dem Kartell nicht an und beteiligt sich gar nicht an der Sache. Sie war auch auf dem Meteorologenkongreß zu Southport und auf dem Sonnenforschungskongresse in St. Louis gar nicht vertreten. Ich fürchte, durch dieses Prinzip, an allem, was sie nicht selbst angefangen hat, sich nicht zu beteiligen, wird sie mehr noch als die Wissenschaft, sich selbst und Deutschland schädigen. Mich ärgerte es, als in Southport und St. Louis unter den foreigners (Nichtengländern) überall die Franzosen den ersten Platz erhielten. Wir Deutsche hätten es wahrlich nicht nötig, ihnen nachzustehen! Aber was vermochte ich als Österreicher? Wenn bei den Meteorologen

noch Hann da gewesen wäre, den alle so vermißten! Aber der ist wieder nicht zum Reisen zu bewegen!

Wenn ich schon ins Plaudern komme, dann lasse ich meiner Zunge völlig freien Lauf. So verschweige ich auch nicht, daß ein amerikanischer Kollege überhaupt von einem Rückgang Berlins sprach. In der Tat gingen unter Weyerstraß, Kronecker, Kummer, Helmholtz, Kirchhoff die amerikanischen Mathematiker und Physiker meist nach Berlin studieren, jetzt bevorzugen sie Cambridge und Paris. Dadurch, daß es weniger mehr von den Deutschen lernt, geht wieder Amerika und mit ihm die Welt zurück. Jener Kollege behauptete auch, es wäre manches besser geworden, wenn ich den Ruf nach Berlin nicht abgelehnt hätte. Gewiß am wenigsten durch meine Vorträge; aber ein einziger kann, wenn er mit Kleins Idealismus und Kleins Unverfrorenheit wirkt, bei Berufungsfragen und bei Neuschöpfungen ganz bedeutend ins Gewicht fallen. Mancher, der nicht zu haben war, wäre doch zu haben gewesen, wenn man ihn richtig gewollt hätte. Ein kleines Rädchen, das an der richtigen Stelle immer richtig arbeitet, kann viel leisten.

Wenn ich mich bei allen Städten von der Einwohnerzahl Leipzigs so lange aufhalte, werde ich nicht weit kommen; „aber man muß die Einwohner nicht zählen, sondern wägen.“ Das heißt natürlich ihre geistige Bedeutung.

Nach einigen höchst gemütlichen intimen Diners und einem offiziellen, bei dem ich den sächsischen Unterrichtsminister Seydewitz, unter dem ich zwei Jahre Professor gewesen war, zum erstenmal persönlich kennen lernte, ging es weiter nach Bremen und dann mit einem Hohenzollernschen Fürsten nach New York. Das ist nicht so zu verstehen, als ob ich gewürdigt worden wäre, der Begleiter dieses Fürsten auf einer Amerikafahrt zu sein, sondern derselbe trug mich einfach auf seinem Rücken. Es war Kronprinz Wilhelm bei der Hinfahrt, Kaiser Wilhelm II. bei der Rückfahrt.

Lieber Leser! Meine Eile ist groß, aber die Meerfahrt von Bremen bis New York mit diesem banalen Witz ganz abzutun, bin ich doch nicht imstande. Die großen Ozeandampfer gehören zu dem Bewunderungswürdigsten, was der Mensch geschaffen hat und die Fahrt damit findet man bei

jeder Wiederholung wiederum schöner. Das wundervoll brausende Meer jeden Tag wieder anders und jeden Tag wieder staunenswürdiger! Heute weißschäumend, wild stürmend. Siehe das Schiff dort! Nun ist es von den Wellen verschlungen! Nein! Schon taucht der Kiel wieder siegend empor.

Morgen ist das Wetter ruhig, das Meer glatt aber nebelgrau; nebelgrau auch der Himmel, wie man die Melancholie malt. Dann bricht die Sonne aus dem Nebel, und gelbe und rote Funken tanzen auf den Wellen zwischen den tiefschwarzen Flächen der Wolkenschatten, das goldige Licht vermählt sich der Finsternis. Und dann ist wiederum der ganze Himmel blau, und das Meer, azur in weiß, strahlt von so überwältigendem Glanze, daß man die Augen schließen muß. Nur an auserwählten Tagen schmückt es sich mit dem schönsten, dem ultramarinblauem Kleide, eine Farbe so dunkel und doch so leuchtend, mit milchweißem Schaume wie mit Spitzen eingefaßt! Ich lachte einmal, als ich las, daß ein Maler nach einer einzigen Farbe Tage und Nächte suchte; jetzt lache ich nicht mehr darüber. Ich habe beim Anblick dieser Farbe des Meeres geweint; wie kann uns eine bloße Farbe weinen machen? Dann wieder Mondesglanz oder Meerleuchten in pechschwarzer Nacht! Um von allen diesen Herrlichkeiten einen Begriff geben zu können, müßte man Maler sein und dann könnte man es erst recht nicht.

Wenn eines unserer Bewunderung noch mehr wert sein kann als diese Naturschönheit, so ist es die Kunst des Menschen, welcher in dem seit den Zeiten der Phönizier und noch viel länger geführten Kampf mit diesem unendlichem Meere so vollständig siegte. Wie unbarmherzig der Kiel die Flut durchschneidet, wie der Meergott wild aufschäumt unter der bohrenden Schraube! Fürwahr, das höchste Wunder der Natur, das ist der kunstfertige Geist des Menschen!

Wenn ich wie einst Solon um den Glücklichsten der Sterblichen gefragt würde, ich würde ohne Zagen Kolumbus nennen. Nicht als ob nicht andere Entdeckungen der seinen gleichkämen, schon die des Deutschen, Gutenberg. Aber das Glück ist mitbedingt durch die sinnliche Wirkung und die muß bei Kolumbus am höchsten gewesen sein! Ich kann nie in Amerika landen, ohne ein gewisses Gefühl des Neides gegen ihn oder besser vielleicht der Beseligung, daß ich

einen kleinen Teil seiner Freude mitempfinden kann. Freilich fuhr Kolumbus nicht mit dem Kronprinz Wilhelm, er sah auch New York nicht mit dem leiblichen Auge, aber mit dem geistigen hat er vielleicht mehr gesehen als wir, das New York nach 100, 200 Jahren!

Dafür ist auch Kolumbus das Prototyp der Entdecker geworden. Sein „immer, immer nach West" für ihre Ausdauer, sein „Land, Land" für die Freude des Gelingens, und seine ganze Tat für die Überzeugung, daß das Leben der Güter Höchstes nicht ist. „Setzest du nicht das Leben ein, nie kann dir das Höchste gewonnen sein."

Nicht nur der Schönheitssinn, auch alle anderen finden bei der Meerfahrt volle Befriedigung. Eine reichliche und gute Küche sorgt für den Geschmack, ein ganz nettes Orchester für das Gehör. Da marschieren wieder oft unsere Wiener Komponisten auf, freilich nicht die ganz großen, aber Strauß, Ivanovici, Waldteufel u. v. a. Lebhaft beklatscht wurden die „Donauwellen" an den Wellen des atlantischen Ozeans und in der Tat, denken wir an Haydn, Mozart, Schubert, Beethoven, so können wir, wie Schiller von der Ilm auch von der Donau sagen, daß „ihre leiseren Wellen im Vorüberziehen manch unsterbliches Lied erlauscht haben."

So gibt es nichts Behaglicheres, als das Schiffsleben, besonders für den, dem ein Gott gegeben, von der Seekrankheit verschont zu bleiben und ruhigen Gemütes auf so viele Dahingestreckte blicken zu können. Der Spaß erreicht seinen Höhepunkt, wenn vermöge irgend einer hydrodynamischen Zufälligkeit plötzlich unerwartet eine Welle über Bord spritzt und die im Halbschlummer Dahingestreckten unter Gekreisch aufspringen.

Wenn ich dann im Hafen von New York einfahre, so erfaßt mich immer eine Art Rausch. Diese turmhohen Häuser und die alles überragende Statue der Freiheit mit der Fackel! Dabei dieses Pfeifen und Singen der Schiffe durcheinander; das eine schroff warnend, das andere erschreckt aufschreiend, das eine munter pfeifend, das andere in Quarten melancholisch jammernd; dort erschallen gar die unnachahmlichen Töne der Sirenen! Wenn ich ein Musiker wäre, ich würde eine Symphonie komponieren: Der Hafen von New York.

Doch damals hatte ich keine Zeit zur Sentimentalität.

Ich hatte sofort in Hoboken einen Cab engagiert, der mich zuerst in die Office der Southern Pacific Railroad, dann von dort direkt auf den Bahnhof bringen sollte; alles für 3 Dollar. Aber in der Office erfuhr ich, daß der besonders beschleunigte Zug, für den ich ermäßigten Preis hatte, nur zweimal in der Woche fährt und ich zwei Tage in New York warten müsse. So beschied ich denn meinen Wagen ins Westminster-Hotel und hatte Zeit, mich zwei Tage in New York herumzutreiben.

Langweilig ist es dort auch nicht. Welch reichen Stoff der Unterhaltung und Beobachtung bietet nur eine einfache Tramwayfahrt! Fahrkarten werden nicht ausgegeben, Überfüllungsverbote und verschiedene Preise gibt es nicht. Der Kondukteur entdeckt mit Falkenblick jeden neu Einsteigenden; dieser drückt ihm 5 Ct. in die Hand, ein Zug an einer Schnur und die Zahlung ist an einem Zählwerk, das sich oben im Wagen befindet, quittiert. Gleichzeitig ertönt ein Glockenschlag, den alle Anwesenden hören. Wenn man einen Platz in der Nähe des Kutschers hat, so kann man Führergaben bewundern, die unmöglich denen eines Napoleon I. oder Moltke viel nachstehen können. Wie rasend schnell eine freie Strecke durchmessen wird, wie vor einem Automobil sofort gehalten wird (denn diese fahren einfach in scharfem Bogen an den Kutschen und Tramwaycars vorüber), alles das möge man sich in Natur ansehen und noch einiges andere, was in New York sehenswert ist.

Am dritten Tage gings dann um so schneller vorwärts. In vier Tagen und vier Nächten kam ich von New York nach San Franzisko. Man wird einfach fortgeschleudert, gewissermaßen fortgeschossen. Die Püffe, die man beim Gehen durch den endlos langen Zug nach dem Speisewagen, Aussichtswagen usw. erhält, sind nicht gerade angenehm. Die Aussichtswagen sind rückwärts ganz offen, man kann sich auf das Abschlußgitter setzen oder darüber hinausbeugen und hat dann einfach acht zu geben, daß man nicht bei einem jähen Stoße hinunterfällt.

Die Landschaft war freilich meist einförmig, doch ist schon die direkte Beobachtung der Schnelligkeit der Fahrt interessant. Wenn man vom Aussichtswagen aus nach rückwärts blickt, so erscheinen die Eisenbahnschienen wie ein end-

loses Band, das mit rasender Geschwindigkeit unter dem Wagen hervorgezogen wird. Interessant war auch die Fahrt auf dem riesigen Holzdamm mitten durch den Salzsee und die ausgedehnten von Salzkristallen wie mit Schnee bedeckten Felder vor und nach demselben. Gegen das Ende der Fahrt ist der Übergang über die Sierra-Nevada wunderschön. Er erinnert an den Semmering, freilich nicht ganz so malerisch, aber noch viel großartiger an Länge der Strecke und Höhe der Berge.

Dank meiner Verzögerung in New York kam ich nach Berkeley zu spät. Die Sommerschule begann am 26. und ich traf erst am 26. abends ein. Da freilich dieser Tag bloß mit den einleitenden Reden, Inskriptionen usw. vertändelt worden war, so hätte ich keine einzige Stunde versäumt, wenn ich tags darauf um 9 Uhr morgens begonnen hätte. Allein dazu erklärte ich mich außerstande. Die Wirkung des viertägigen Schüttelns und Schleuderns trat nämlich erst jetzt zutage. Ich konnte auf ruhigem Boden keinen Schritt mit Sicherheit gehen und nachts im Bette erwachte ich fortwährend vor Schrecken, daß ich nicht geschüttelt wurde und doch vom Schütteln träumte.

Nun muß ich gestehen, daß ich ein wenig Lampenfieber immer vor der ersten Vorlesung habe; hier gar, wo ich englisch sprechen sollte. Ich hatte auf der Reise weniger Gelegenheit zur englischen Konversation gehabt, als ich gehofft hatte. Die Deutschen, die englisch gekonnt hätten, sprachen nach einigen englischen Worten wieder deutsch und die echten Engländer sprachen überhaupt gar nichts.

Meine englische Konversation ging nach diesem Schema. Ich: When lunch will be served? Er: ieeöö. Ich: I beg you, could you say me, at what hour lunch will be served? Sein Gegurgel ist jetzt um eine gute Quint tiefer: aoouu. Ich begreife das Verfehlte meines Angriffsplanes und schreie verzweifelt: Lönch, lanch, lonch, launch usf. Ich bringe Vokale hervor, die man in Gutenbergs Setzkasten vergebens suchen würde. Jetzt zeigt sein Gesicht einiges Verständnis; Ah, loanch? Nun ist die Brücke der Verständigung geschlagen. Ich: When? at what hour? When o'clock? Er: Half past one! Wir haben uns verstanden. Und nun sollte ich in dieser Sprache dreißig Vorlesungen halten! Ich erklärte

mich also Dienstag den 27. Juni außerstande und begann erst Mittwoch. Bei der ersten Vorlesung war ich wohl zaghaft, aber bei der zweiten schon unbefangener und als ich vollends hörte, daß mich die Studenten gut verstehen, ja meine Darstellung sehr übersichtlich und klar finden, da fühlte ich mich bald ganz zuhause.

Ich kann nicht umhin, meiner englischen Sprachlehrerin in Wien Miß May O'Callaghan für diesen Erfolg meinen Dank auszusprechen. Ohne ihre unermüdlichen Bemühungen meiner widerstrebenden Zunge nachzuhelfen, hätte ich ihn nicht erzielt. Mit welchem Stolze wandte ich wie selbstverständlich die Worte Blackboard und Chalk an, als ich mir schreibfähige Kreide und eine ausreichende Schreibtafel verschaffen mußte! Wie gut klappte die Aussprache von Algebra, Differenzialcalculus, Chemistry, natural Philosophy usw.!

Ja auch einen ausgezeichneten Hummersalat verdanke ich meinem Fleiße. Da stand auf der Speisekarte lobstersalad. Ich erinnerte mich sogleich der Lektion, wo ich kaum glauben konnte, daß Hummer lobster heißt; also her mit dem lobster und er mundete ganz vorzüglich.

Die Universität Berkeley, wo ich zu wirken hatte, ist das Schönste, was man sich denken kann. Ein Park von einem Quadratkilometer Fläche, mit Bäumen, die gewiß schon Jahrhunderte sahen, oder sind es Jahrtausende? wer wüßte das so geschwind! Darin schöne, modern eingerichtete Gebäude, freilich schon vielfach zu klein; aber man macht Neubauten, Bauplatz und Geld ist ja da.

Es liegt ein gewisser philosophischer Hauch darüber. Der Name Berkeley ist ja der eines hoch angesehenen englischen Philosophen, dem man sogar nachrühmt, der Erfinder der größten Narrheit zu sein, die je ein Menschenhirn ausgebrütet hat, des philosophischen Idealismus, der die Existenz der materiellen Welt leugnet, also Idealismus in einem anderen Sinne, als ich das Wort gebrauchte. Die Philosophie hat dort ein eigenes Lehrgebäude; nicht ein Lehrgebäude aus Phrasen und Hirngespinsten, Pardon, ich wollte sagen aus logischen Schlüssen und Vernunftbegriffen, sondern ein veritables Gebäude aus Stein und Holz, wo

mit Stimmgabeln, Farbenscheiben, Kymographien und Registiertrommeln die Psyche erforscht wird.

Wichtiger war für mich ein anderes Gebäude. Ein spekulativer Wirt hatte nämlich im Konversationslexikon gelesen, daß Berkeley ein englischer Bischof war, dessen Residenz Cloyne Court hieß, und daraufhin ein Professorenwirtshaus gebaut, das er Cloyne Court nannte und wo auch ich wohnte. Auf eine gewisse äußere Ähnlichkeit mit einem alten englischen Bischofsitz hatte er keinen Wert gelegt; es lag ja in der Euklid-Avenue und hatte exakt Parallelepipedform ohne jede Spur von etwas nichteuklidischem. Aber im Innern war es komfortabel. Ich hatte ein kleines Schlafzimmer, ein etwas größeres Arbeitszimmer und ein Badezimmer, alles elektrisch beleuchtet. In den Zimmern konnte man durch einige dicke Röhren warmes Wasser zirkulieren lassen und so eine mäßige Heizung bewirken, was im Juli unter der Breite von Palermo oft willkommen war, so eisig ist manchmal der vom pazifischen Ozean wehende Wind. Dagegen ist in Berkeley der Winter nur wenig kälter als der Sommer; nur reich an Regen, der im Sommer gänzlich fehlt.

Das Essen war gut. Wenigstens von einer der vorgesetzten Speisen konnte man in der Regel etwas hinunterwürgen. Gedruckte Speisekarten gab es nicht. Das Menu wurde von den meist Augengläser tragenden Kellnerinnen vor jeder Mahlzeit herabgeleiert, so daß es mehr wie ein monotones mit gedämpfter Stimme gesungenes Lied klang.

„Doch des Lebens ungemischte Freude ward keinem Irdischen zuteil“, auch nicht auf einer Reise nach Berkeley. Zuerst soll der Magen das Wort behalten. Ich hatte bisher weder aus offenen noch aus den mit Flußwasser und Kohlensäure gefüllten verschlossenen Flaschen Wasser getrunken, und so meinen Magen trotz der — ungewohnten Nahrung gesund erhalten. Aber Berkeley ist abstinent; Bier und Wein zu trinken oder auszuschenken ist strengstens verboten. Verdursten wollte ich doch nicht; ich versuchte also das Wasser, aber ohne Eis, vielleicht ist es in Berkeley gesünder als in New York und St. Louis. Leider nicht! Mein Magen revoltierte, und als ich einmal die ganze Nacht die Kleider anbehalten mußte, um sie nicht zu oft aus- und wieder anziehen zu müssen, wagte ich an einen Kollegen

die Frage nach einer Weinhandlung. Die Wirkung erinnerte mich an eine Szene im Rauchkoupé der Eisenbahn zwischen Sacramento und Oakland. Es hatte sich zu uns ein Indier gesellt, welcher ganz naiv nach einem — weil es ein Indier war, sagen wir Bajaderenhaus in San Franzisko fragte. Die meisten im Rauchkoupé waren aus San Franzisko und Mädchen mit der Devise: „give me money, I give you honey“ gibt es in San Franzisko gewiß; aber alle machten verdutzte, verlegene Gesichter. Ein ganz gleiches Gesicht machte mein Kollege auf die Frage nach einer Weinhandlung. Er sah sich ängstlich um, ob niemand zuhöre, maß mich, ob er mir ganz trauen dürfe und rückte endlich mit einer ausgezeichneten Handlung kalifornischen Weines in Oakland heraus. Es gelang mir richtig, eine ganze Batterie Weinflaschen einzuschmuggeln und der Weg nach Oakland wurde mir seit dieser Zeit sehr geläufig. Auch mein Magen sagte Amen dazu und erholte sich bewunderungswürdig schnell, obwohl meine Kost sonst dieselbe blieb. Aber mein Glas Wein nach Tisch mußte ich sorgfältig versteckt trinken, so daß ich fast selbst das Gefühl bekam, einem Laster zu fröhnen. Die Temperenz ist also auf dem besten Wege, die Heuchelei, deren es doch auf der Welt schon genug gibt, um eine neue Spezies zu vermehren.

Kaum war mein Magen beschwichtigt, so stellten sich andere Übel ein. Mein lästiges Asthma verschwand bisher immer, sobald ich den Fuß auf den Dampfer setzte und blieb verschwunden, bis ich wieder europäischen Boden betrat. So auch diesmal, bis ich nach Kalifornien kam; aber, was man an dessen Klima rühmt, die feuchte Kühle, das lockte mir den ungebetenen Gast, das Asthma, wieder auf den Hals.

Dann bekam ich unter dem Arme eine Beule (ich glaube infolge eines neu gekauften Hemdes, das ich ungewaschen angezogen hatte). Ich mußte sie mir im Roosevelt-Hospital aufschneiden lassen. Es war von höchstem Interesse, das amerikanische Hospital so gründlich kennen zu lernen, das an Eleganz dem Kaiser Wilhelm II. (ich meine natürlich das Dampfschiff) nicht nachsteht, aber kostete 35 Dollar. Es war dieses der kostspieligste Luxus, den ich mir auf der

ganzen Reise erlaubte, und raubte mir ein weniger zweifelhaftes Vergnügen.

Dienstag den 4. Juli war nämlich independence-day, der größte amerikanische Feiertag, und da ich Samstag und Sonntag keine Vorlesung hatte, so brauchte ich nur die am Montag auszulassen oder später nachzuholen, um vier Tage für einen eiligen Besuch des Yosemite-Tales zu erübrigen. Das mußte ausfallen; dafür hörte ich Sonntag den 2. Juli die half hour of music, die wie jeden Sonntag im griechischen Theater gratis zum besten gegeben wurde. Dieses Theater ist eine getreue Kopie des Sophokleischen Theaters in Athen, nur, wie mir schien, noch vergrößert. Da es in Berkeley im Sommer nie regnet und doch auch wegen des häufigen Nebels die Sonne wenig scheint, so tut das vollständig unbedeckte Theater gute Dienste. Nur die Musik war in dem architektonisch wunderschönen, rings von Eukalyptus und lifeoaks umrahmten Raume unendlich dünn. Da hätte Mahler mit den Philharmonikern hingehört, die dritte Symphonie spielend, so daß die Bäume vor Wonne gezittert hätten und der stille Ozean aufhorchend noch stiller geworden wäre; die Menschen dort hätten es ja doch nicht verstanden.

Am Dienstag sah ich vom Dache des Cloyne-Court aus die großartigen Feuerwerke an, die, wie alljährlich, zur Feier des independence-day abgebrannt wurden. Cloyne-Court liegt nämlich auf der Anhöhe und gewährt eine Aussicht auf die Bai von San Franzisko, das goldene Tor, den Mount-Tamalpais usw., wie sie der alte englische Bischof von seinem Cloyne-Court aus kaum schöner hatte.

Der liebe Gott selbst schien an der Feier sein Wohlgefallen zu haben; denn er ging bei Sonnenuntergang mit einem Feuerwerke voran, seiner eigenen Größe und der seiner Schöpfung würdig. Da hatte ich wieder, wie schon oft auf der Amerikareise, den Wunsch, malen zu können!

Als die letzten Strahlen des Abendrotes verschwunden waren und die Lichter von San Franzisko hell über die Bai herübergrüßten, begannen die Feuerwerke der Menschen. Bald flammte wunderbar zu unseren Füßen ein buntes Licht auf, bald erstrahlte weit am Horizont ein glühender Stern. Wo soll man hinsehen? In Berkeley und San Franzisko leuchtet und flammt es; aber dort in Oakland, welch schöner

Effekt! Kaum sieht man hin, hat man einen noch schöneren in Alameda versäumt. Ich nahm mir vor, jeden Abend des 4. Juli in meinem Garten ein kleines Feuerwerk abzubrennen. Der Kampf Washingtons und seiner Schar hat doch nicht bloß lokalpatriotische, sondern vielmehr welthistorische Bedeutung.

Schiller sagt einmal: „Noch ein paar tausend solche Kerle wie ich, und aus Deutschland soll eine Republik werden, gegen die Rom und Sparta Nonnenklöster waren." Das blieb freilich aus. Ein paar tausend Kerle wie du? Die Welt hat nicht einen mehr gezeugt. Aber Ideen sterben nicht. Die Republik, im Vergleich mit der Rom und Sparta Nonnenklöster waren, existiert, freilich jenseits des Ozeans, und wie kolossal ist sie und wächst sie! „Die Freiheit brütet Kolosse aus."

In der Folgezeit war ich jeden Samstag und Sonntag irgendwo eingeladen. Das erste Mal bei Mrs. Hearst auf ihrem prachtvollen Landsitze in der Nähe von Livermore. Wer ist Mrs. Hearst? Es ist nicht ganz leicht, das einem Europäer klar zu machen. Am nächsten würde man der Wahrheit kommen, wenn man sagte, sie ist die Universität Berkeley. In Europa ist die alma mater eine antike Idealgestalt, in Amerika ist es eine wirkliche Dame und, was am wichtigsten ist, mit wirklichen Millionen, von denen sie alljährlich so etliche zur Erweiterung der Universität hergibt; auch meine Amerikareise wurde natürlich aus ihrem Gelde bezahlt. Der Präsident der Universität (was wir den Rektor nennen würden, er ist es aber lebenslänglich) ist nur das ausführende Organ der Trustees, an deren Spitze Mrs. Hearst steht. Der gegenwärtige mußte sich bei seiner Ernennung eine Reihe von Freiheiten ausbedingen, um doch einiges aus eigener Machtvollkommenheit für die Universität tun zu können.

Noch schlimmer — doch wie kann ich sagen schlimmer? wer, wie ich der Gastfreundschaft Mrs. Hearsts so schöne Stunden verdankt, wie sollte der behaupten, daß eine solche alma mater etwas schlimmes wäre? Also noch schroffer sind die Verhältnisse an der Leland Stanford junior University in Palo Alto, welcher ich einen eintägigen Besuch abstattete.

Mr. Leland Stanford senior hatte den Bau der ersten Pazificbahn geleitet, das heißt der ersten Bahn, welche die kontinuierliche Bahnverbindung zwischen dem atlantischen und stillen Ozean herstellte. Er wußte im Kongresse, wo er auch einflußreich war, die Wichtigkeit des Unternehmens ins rechte Licht zu setzen und zu veranlassen, daß dieser beschloß, die Hälfte der Baukosten zu tragen, wofür er sich gewisse Hoheitsrechte vorbehielt, die Einnahmen aber im Wesen dem Bahnunternehmer überließ. Herr Stanford gründete nun eine Gesellschaft von ganz anderem Namen, deren Haupt er wieder war, welche der Eisenbahnbaugesellschaft alle Materialien und Arbeitskräfte zu liefern hatte. Da er das Haupt der einen und anderen Gesellschaft war, so erreichte er leicht, daß die erste von der zweiten alles um den doppelten Preis kaufte und der Staat nominell die Hälfte, faktisch das ganze bezahlen mußte, er aber die ganzen Einnahmen hatte.

Als er enorm reich geworden war, raffte ein plötzliches Unglück seinen einzigen Sohn, für den er alles gesammelt hatte, hinweg. Er und besonders Mrs. Stanford verfielen in eine Art religiösen Wahnsinn. In Europa, wenn eine alte Dame etwas überschnappt, kauft sie sich ein Dutzend Katzen oder einen Papagei; hier ließ sie Baumeister ersten Ranges berufen (was bekommt man nicht um Geld) und erbaute eine Universität, die sicher noch der Segen künftiger Geschlechter sein wird.

Während die Universität Berkeley im Pavillonsystem erbaut ist, so ist die Stanford-Universität nach einem einheitlichen, architektonisch schön wirkenden Plane angelegt, der mir freilich für den Unterricht unzweckmäßig vorkommt. Die Architekten sind eben überall gleich. Besonders prachtvoll ist die Universitätskirche mit Wand- und Deckengemälden, Glasmalereien und Kunstwerken der Plastik reich geschmückt. Die Orgel, die in meiner Gegenwart gespielt wurde, klang so wundervoll, daß ich bei diesen Tönen gerne andächtig war.

Nach dem Tode ihres Gemahls war Mrs. Stanford lange allein die Universität. Nun starb auch sie, nicht ohne vorher in ihrem Testamente für die Universität ausgiebig gesorgt zu haben.

An der Stanford-Universität soll einmal ein Professor der Nationalökonomie in seinen Vorlesungen gegen den Gründer-

schwindel losgezogen haben; der Präsident glaubte sich bei Mrs. Stanford ein Blatt einzulegen, wenn er diesen Professor sofort entließ; aber Mrs. Stanford selbst war so hochherzig, ihn zurückzuberufen und den übereifrigen Präsidenten zu tadeln.

Daß an solchen Universitäten das männliche und weibliche Element unter den Studenten und im Lehrkörper gleichberechtigt ist, versteht sich von selbst, und ich will nur einen drastischen Beleg für die weitgehende Herrschaft des Weiblichen anführen. Eine meiner Kolleginnen im Lehramte, ich behielt ihren Namen, Miß Lilian Seraphine Hyde, eine nicht unebene Dame, las ein ganz in gleicher Weise wie das meine angekündigtes, wie wir sagen würden, zweistündiges Kolleg über die Zubereitung von Salaten und Dessert. Ich kann den Lektionskatalog noch heute vorzeigen.

Alle Räume der Universität wimmeln von Damen, die an Zahl den männlichen Studenten nicht viel nachstehen dürften. Besonders fällt es auf, daß in jedem Raume ein Damenhut deponiert zu sein pflegt. Im Professorenzimmer ein Damenhut, in dem Raum, der als Waschzimmer, Telephonkammer und noch etwas dient, ein Damenhut, in der Dunkelkammer ein Damenhut; ja als ich nach der schon erwähnten Operation etwas geschwächt und konfus fortging, hätte ich in der Zerstreutheit bald statt meines Hutes einen dort deponierten Damenhut aufgesetzt.

Doch nun zurück zu Mrs. Hearst, der alma mater berkeleyensis. Sie hatte mich, wie schon erwähnt, mit einer Reihe anderer an der Sommerschule lehrenden Professoren nach ihrem Landsitze in der Nähe von Livermore geladen, einem Juwel, wie es Luxus, Reichtum und guter Geschmack nur in so verschwenderisch ausgestatteter Natur zu schaffen vermögen. Auf der Bahnstation empfingen uns die Kutschen und bald ging es durch ein stark phantastisches aber nicht unschönes Eingangstor nach einem Parke von fabelhafter Baumpracht und Blumenschönheit. Der Reichtum setzt sich hier in Wasser um, und wo dieses nicht gespart wird, ersteht in Kalifornien ein Blumenflor, der Sommer und Winter gleichmäßig fortblüht. Lange, doch für mich noch zu kurz, durchquerten wir den Park, der auch die schönsten Aussichtspunkte nach dem Mount Diable und Mount Hamilton bietet.

Endlich erreichten wir das Wohnhaus. Es ist in portugiesisch-mexikanischem Stile erbaut, ein Kranz von Gebäuden rund um einen durch schwere eiserne Tore verschlossenen Hof; offenbar eine Art Festung. Den Mittelpunkt des Hofes bildet ein antiker Marmorbrunnen, den die Besitzerin selbst in Verona kaufte und bis ans stille Meer hatte transferieren lassen. Nach ihm heißt der ganze Landsitz „Hazienda del pozzo di Verona".

Mein Nachbar im Wagen erklärte mir, daß die Besitzerin eigens einen deutschen Architekten namens Schweinfurt berufen hatte, der nach dem Studium aller alten spanischen und portugiesischen Gebäude in Mexiko dieses geschaffen hat. Ich bemerkte: „Der muß einen guten Geschmack gehabt haben!" worauf mein Begleiter erwiderte: „Ja, er ist auch daran gestorben." Ich frug: „Wie ging denn das zu?" Darauf er: „Die kalifornischen Weine schmeckten ihm zu gut und da trank er fort, bis er starb." Diese Kalifornier haben eine entsetzliche Idee von ihren, allerdings sehr starken Weinen. Am Ende war es nicht einmal so arg. Ich werde ja auch einmal sterben und dann zu trinken aufhören, so daß ich also auch fortsaufen werde, bis ich sterbe.

Das Innere der Hazienda ist ein Schatzkästlein voll der herrlichsten Kunstwerke und Seltenheiten, die die Besitzerin in allen Gegenden der alten und neuen Welt zusammengekauft hat, die originellste Mischung griechischer und römischer, mittelalterlicher, mexikanischer, chinesischer, japanischer und indischer Seltenheiten.

Bei Tisch saß ich, als einziger anwesender Europäer zur Rechten der Mrs. Hearst. Das erste Gericht waren Brombeeren. Ich dankte. Dann kam eine Melone, welche die Hausfrau eigenhändig für mich recht appetitlich gesalzen hatte. Ich dankte wieder. Dann kam oat-meal, ein unbeschreiblicher Kleister aus Hafermehl, mit dem man in Wien vielleicht die Gänse mästen könnte; ich glaube aber eher nicht, denn Wiener Gänse würden das kaum fressen. Ich hatte aber schon beim Abweisen der Melone einen etwas ungnädigen Blick der alma mater bemerkt. Auf ihre Küche ist ja auch eine alma mater stolz. Ich würgte also mit abgewandtem Gesicht und danke Gott, daß mir nichts Menschliches dabei passierte. Das ist das Unangenehme bei Ein-

ladungen in Amerika; in Gasthäusern darf man, was man nicht essen kann, stehen lassen; aber was macht man gegenüber einer Hausfrau, die auf die Güte der amerikanischen Küche im allgemeinen und der ihren im besonderen stolz ist? Glücklicherweise kam dann noch Geflügel, Kompott und manches, womit ich den Geschmack wieder decken konnte.

Nach Tisch ging man in das Musikzimmer, ein Raum, wenn ich recht schätze, ungefähr so groß, wie der Bösendorfer Saal, aber welche phantastisch-barocke Ausschmückung! An Schönheit wüßte ich ihm keinen der kleineren Wiener Konzertsäle zu vergleichen. Die Kunde von meinem armseligen Klavierspiel war bis in die Hazienda gedrungen. Ich wurde aufgefordert, das Konzert zu eröffnen. Nach einigem Sträuben setzte ich mich an den Flügel, einen Steinway von der allerhöchsten Preislage. Ahnungslos griff ich in die Tasten; einen Flügel von solcher Klangschönheit hatte mein Ohr vielleicht schon in einem Konzerte gehört, nie mein Finger berührt. Wenn mich je die Strapazen meiner kalifornischen Reise gereut hätten, von jetzt an nicht mehr. Ich spielte eine Sonate von Schubert, anfangs freilich war mir die Mechanik etwas fremd, aber wie leicht gewöhnt man sich an das Gute! Schon der zweite Teil des ersten Satzes ging gut und im zweiten Satze, einem Andante, vergaß ich mich selbst; nicht ich spielte die Melodie, sondern diese lenkte meine Finger. Ich mußte mich mit Gewalt zurückhalten, nicht auch noch das Allegro zu spielen und das war gut, denn dort wäre meine Technik abgefallen. Nach mir spielte eine Schülerin Barths in Berlin mit ebensoviel Technik als Musikverständnis. Unter den Anwesenden war auch ein Professor der Musik in Milwaukee, eine martialisch männliche Gestalt, sicher ein vortrefflicher Bärenjäger; aber auch musikalisch gründlich gebildet. Er hatte ebenfalls bei Barth Klavierspiel betrieben, man kann nicht sagen, gelernt. Er wußte, daß Beethoven neun Symphonien geschrieben hat und daß die neunte davon die letzte ist. Mir tat er unverdiente Ehre an; denn gelegentlich einer Debatte, ob Musik auch humoristisch sein könne, ersuchte er mich, das Scherzo aus der neunten vorzuspielen. Sollte ich sagen, ich kann es nicht, einem Professor in Milwaukee gegenüber? Da ward auch ich humoristisch und sagte: „Gerne, nur bäte ich ihn, die Pauke zu

spielen, es nimmt sich besser aus, wenn die ein zweiter hineinspielt.“ Darauf wurde er mit seiner Bitte still.

Die Nacht schlief ich in der Hazienda in einem wundervollen Schlafzimmer, verbunden mit Badezimmer, mit einem Mohren zu meiner ausschließlichen Bedienung, der auch die Stiefel putzte. Gerade über meinem Bette hing das Bild eines Schutzengels von idealer Schönheit. Ich liebe die Kunst besonders, wenn sie zugleich einer Idee dient. Was soll mir in Wohnräumen ein noch so schönes Bild der Schlacht von Abukir? Aber ein Schutzengel zu Häupten der Ruhestätte spricht gewissermaßen den Wunsch des Hauswirts aus, daß ich bei ihm gut schlafen möge. Ja, ich bin abergläubisch. Gerade damals litt ich stark an Asthma und hatte schon Bedenken, nach der Hazienda zu fahren. Dieser Schutzengel tröstete mich und wirklich war die Tücke des Asthma von dieser Nacht an gebrochen.

Am nächsten Tage hatte es erst mit dem Besehen von Merkwürdigkeiten in Haus und Hof, Wald und Feld kein Ende. Wir fuhren unter anderem zu riesigen life oaks mit ungeheuren weitausgebreiteten Ästen. Über den Zweigen einer derselben war eine ganze Hütte gebaut, zu der eine Stiege hinaufführte, eine Art Hundinghütte im ersten Stockwerke. Erst nachmittags fuhr ich zurück und gelangte spät abends nach Berkeley, um am nächsten Tage wieder rechtzeitig im Hörsaale erscheinen zu können.

Der nächste Samstag und Sonntag war der Licksternwarte gewidmet. Ich fuhr schon Freitag Nachmittag nach dem freundlichen Städtchen San-José, in dem manche Straßen Palmenalleen sind. Dort wandelt man nicht nur unter Palmen, man fährt unter Palmen Tramway, Bicykle und Automobil. Nächsten Tag um sieben Uhr morgens trat ich in der etwas defekten Postkutsche die Fahrt auf den Mount-Hamilton an, der etwa die Meereshöhe des Semmering hat, aber höher erscheint, da der Ausgangspunkt der Fahrt nur wenig oberhalb des Meeresniveaus liegen dürfte. Die Straße ist sehr gut und führt in Serpentinen durchaus langsam und gleichmäßig ansteigend zwischen Wein- und Obstgärten, auch Wald und Wiesen hinan. Auf letzteren steht aber um diese Jahreszeit nur Heu. Dort fressen die Kühe im Sommer Heu und im Winter frisches Gras.

Mein Kutscher, ein knorriger, brummiger Alter, ist zugleich Postbeamter. Gleich nach Verlassen des Gasthofes werden mit viel Gebrumm die Postsendungen sortiert, die in einigen Säcken vor unseren Füßen liegen. Bald sind wir außerhalb der Stadt. Draußen vor dem Tor eines großen umzäunten Anwesens begrüßt uns ein hübscher Hund mit munterem Bellen. Mein Kutscher steckt ein paar Briefe in ein Zeitungspaket und wirft dieses geschickt dem Köter ins Maul, der damit sofort unter dem Zaune hinwegschlüpft. Diese Art Postdienst wiederholt sich bei sehr vielen Anwesen. Bei anderen ist eine Holzstange mit einem großen Nagel aufgepflanzt. Mein Kutscher nimmt geschickt, ohne den Wagen anzuhalten, die für die Absendung bestimmten Postsachen herab und hängt die angekommenen darauf. Nur zweimal, wo Körbe mit Eßwaren oder andere große Pakete aufzugeben waren, warteten Mägde, deren Menschenrasse anzugeben ich zu wenig Anthropologe bin. Wir hatten zweimal Pferde gewechselt und einmal geluncht (aber fragt mich nur nicht wie?).

Etwa um $^1/_2 2$ Uhr kamen wir oben bei der Sternwarte an. Nur die jüngeren Astronomen, an der Spitze Dr. Tucker, waren anwesend, da Direktor Campbell mit den älteren schon in Spanien die Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vorbereitete. Da ich damals selbst noch willens war, mir diese anzusehen, fragte ich Dr. Tucker, wo die Finsternis beobachtet werde. „In Daroca-Ateca-Almazan“, antwortete er. Ich erschrak ein wenig und sagte unwillkürlich, das ist für mich ein spanisches Dorf. Er aber entgegnete ruhig, es ist in der Tat ein spanisches Dorf nordöstlich von Madrid. Ich weiß nicht, der Name machte keinen günstigen Eindruck auf mich, Spanien fing doch an, mir etwas spanisch vorzukommen.

Drauf zeigte man mir alle die Hilfsmittel der herrlich eingerichteten Sternwarte, welche wegen der günstigen Lage derselben auch auf das Fruchtbarste ausgenützt werden können. Das großartigste ist das Riesenteleskop mit der von Alvan Clark geschliffenen 28zölligen Linse, (the big glass sagen sie einfach), mit dem eine der interessantesten astronomischen Entdeckungen der Neuzeit, die der beiden Marsmonde, gemacht wurde. Im Innern des riesigen Pfeilers, der das Teleskop trägt, ist der Bürger Lick begraben, der

die ganze Sternwarte aus seinen Privatmitteln erbauen ließ. Ist das nicht idealistisch? Ich durchschaue ihn. Er wußte gewiß, daß es für ihn gleichgültig ist, wo seine Gebeine ruhen; aber der Welt wollte er ein sinnfälliges Zeichen geben, was das letzte Ziel eines Millionärs sein soll. Fürwahr! Er hat sich für sein Geld die Unterblichkeit gekauft.

Wenn ich ein Dichter wäre, ich möchte unter dem Titel „Zwei Idealisten" das Zusammentreffen Schillers und Licks im Himmel schildern. Schiller läßt die Weisheit zum Reichtume sagen: Ich brauch' dich nicht. Lick beweist das Gegenteil. Freilich die Begeisterung, die man um Geld bekommt, ist nur eine Begeisterung zweiter Güte; die Liebe, die man um Geld bekommt, nicht einmal dritter Güte; aber einen Steinwayflügel bekommt man um Geld, eine Amatigeige, einen Böcklin und nun auch die Unsterblichkeit.

Ich will hier noch eine Geschichte erzählen, die an Idealismus und Gelderwerb anknüpft. Der große amerikanische Physiker Rowland hatte eine Rede gehalten, daß der Gelehrte nicht nach Gelderwerb streben dürfe. Ein Jahr darauf wird er unwohl, läßt sich ärztlich untersuchen und erfährt, daß er höchstens mehr drei Jahre zu leben habe. Er hatte eine Frau und vier unversorgte Kinder. Im Widerstreite der Pflichten siegt die Familienliebe. Er erfindet einen Typendrucktelegraphen, läßt ihn patentieren und erringt so, als er wirklich bald darauf starb, seiner Witwe ein Vermögen von 200000 Dollar, also etwa eine Million Kronen; aber das Prinzip seiner Rede straft er selbst Lügen. Weißt du, lieber Leser, was ich an Rowland am meisten bewundere? Daß er gleich eine so einträgliche Entdeckung bei der Hand hatte. Möge er im Himmel auch Schillern die Hand reichen!

Der amerikanische Kaufmann freilich ist beim Gelderwerbe streng realistisch. So konnte es ein sehr verständiger Kaufmann, dem ich meinen Reisezweck auseinandersetzte, absolut nicht begreifen, warum ich bis San Franzisko reise, wenn meine Einnahmen nur die Reisekosten decken.

Ich hatte vor dem Pfeiler, der auf seinem Scheitel das Riesenfernrohr, in seinem Bauche die Gebeine des Bürgers Lick trägt, geträumt. Nun ging's weiter durch alle Räume der Sternwarte. Ein reiches Material wird hier bestens ausgenützt. Jede Zone des Himmels hat ihren eigenen Kasten,

in diesem jeder Stern seine eigene Schublade, damit alle Beobachtungen gleich wiedergefunden und benutzt werden können; der Inhalt der Laden wächst rapid an. Es ist kein Wunder, daß den Astronomen bei so viel Arbeit in dieser Bergeseinsamkeit die Zeit nicht lang wird; zudem sind selbstredend auch hübsche Astronominnen dabei.

Nachdem ich noch abends den Mars durch das große Fernrohr gesehen hatte, groß und leuchtend, fast wie die Mondscheibe, ging es in der Nacht wieder zu Tal. Merkwürdig war dabei die Abgrenzung des Nebels. Wir hatten den Sternenhimmel über uns und unter uns wie eine ebene Meeresfläche den Nebel. Mit einem Ruck kam der Wagen in den Nebel, die Sterne waren verschwunden und das Licht der Wagenlaterne drang nur noch wenige Schritte nach vorwärts.

Den nächsten Tag (Sonntag) benutzte ich, um mir San José anzusehen, kehrte aber schon zeitig nachmittags zurück, um zum Schlaf und zur Vorbereitung für die Vorlesung reichlich Muße zu haben.

Nicht weniger des Interessanten bot mein nächster Sonntagsausflug, der nach den Seebädern Monterey, Pacific-Grove und Santa Cruz am stillen Ozean ging. Ich war schon einmal von San Franzisko aus soweit hinausgefahren, daß ich den Ausblick auf den Großen Ozean voll genießen konnte; aber jetzt hatte ich Gelegenheit, in weiter Ausdehnung die Felsenufer und das Wellenspiel dieses Meeres zu bewundern. Aber weit mehr als alles dieses, interessierte mich ein kleines Häuschen in Pacific-Grove, wo Professor Löb sein Laboratorium hat.

Wie groß ist doch der Unterschied zwischen den Riesenwerken der Industrie und den Werkstätten der Wissenschaft! Welch imponierende Kolosse sind die Ozeandampfer! Aber wenn man öfter fährt, wird es klar, daß die Seeoffiziere, die Maschinisten und Matrosen immer den gleichen Dienst tun. In den Passagierräumen sprechen immer die gleichen Menschen über die gleichen Dinge, dehnen sich auf den gleichen Sesseln, werfen auf dem Oberdeck mit denselben Scheiben nach denselben Zielen. Riesige Massen, aber kein neuer Gedanke! In der Wissenschaft wurde allerdings auch schon manches durch Massenentwicklung geleistet (wir sahen es an der Licksternwarte); aber das wahrhaft Große (freilich

unser Unterrichtsminister darf das nicht hören), wird immer mit den kleinsten Mitteln hervorgebracht.

Es muß groß sein, über Millionen zu verfügen zum Besten eines großen Volkes, an der Spitze von Hunderttausenden Schlachten zu gewinnen. Noch größer aber dünkt es mich, im bescheidensten Raume mit den bescheidensten Mitteln Wahrheiten zu entdecken, die noch das Fundament unseres Wissens bleiben werden, wenn die Erinnerung an jene Schlachten nur mehr mühsam in der Geschichte aufbewahrt wird. Was erhielt sich vom ganzen griechischen und römischen Volke heute noch in voller Lebensfrische und wirkt reicher und mächtiger fort als je? Die Marathonkämpfer wurden bei Vionville und Liaojang überboten. Die Leute, die zu ihrem Vergnügen Homer oder Sophokles lesen, sterben aus; aber der pythagoreische Lehrsatz, das archimedische Prinzip sind wirklich unsterblich.

Das sind meine allgemeinen Ansichten; wie weit sie auf Pacific-Grove anwendbar sind, wird erst die Zukunft zeigen. Die dort gemachte Entdeckung brachte mich schon vor Jahren, als sie noch ganz neu war, in große Verlegenheit. Voll Feuereifer setzte ich sie in einer Gesellschaft auseinander, nicht ahnend, daß etwas so rein Sachliches, das so gar nicht auf die Absicht, Wollustgefühle zu erregen, ausging, ja gar nicht dazu fähig ist, unanständig sein könne. Erst der plötzliche, etwas auffällige Abgang meiner Tischnachbarin ließ mich das ahnen. Später sang dieselbe Dame ein sehr zweifelhaftes Lied von Aletter. Ich konnte mich der Bemerkung nicht enthalten, daß ich mich wundere, daß man dies für anständig, mein Thema aber für unanständig halte. Ja, Ihr Thema verstehen wir nicht, sagte die Dame und unwillkürlich antwortete ich: „Den Aletter aber verstehen Sie.“ Es ist das eine unserer alten Heucheleien, der die Temperenzler nun noch eine neue beifügen wollen. Ich werde mich gehörig winden müssen, um das Objekt der Löbschen Forschung klar zu machen, ohne Anstoß zu erregen.

Man glaubte lange, daß alle chemischen Verbindungen, welche für die lebenden Organismen charakteristisch sind, die sogenannten organischen Verbindungen, nur durch eine besondere Kraft, die Lebenskraft, erzeugt werden können. Heute weiß man, daß sich zahlreiche organische Verbindungen aus

ihren chemischen Elementen durch gewöhnliche chemische Reaktionen ohne jede Spur von Lebenskraft zusammensetzen lassen. Aber viele glauben doch, daß das Leben selbst etwas ganz Besonderes, total von den begleitenden chemischen Prozessen verschiedenes sei und daß die speziellen Wirkungen des Lebens nie durch unbelebtes hervorgerufen werden können. Diese Ansicht ist durch die Forschungen Löbs zwar lange noch nicht widerlegt, aber es ist doch wieder ein neues Gewicht zu ihren Ungunsten in die Wagschale geworfen worden.

Es gibt bekanntlich Tiergattungen, bei denen sich unter Umständen das Ei des weiblichen Individuums ohne alle Befruchtung entwickeln kann. (Parthenogenesis.) Löb arbeitete nun mit Tiergattungen, wo dies niemals vorkommt, mit Seeigeln und Seesternen und zeigte, daß auf deren Eier die gleichen Wirkungen, die sonst nur der männliche Samen erzeugt, durch vollkommen leblose Säuren ausgeübt werden können, so daß sich die der Wirkung von Kohlensäure, Buttersäure oder Propylessigsäure unter passenden Umständen ausgesetzten Eier gerade so entwickeln, wie normal befruchtete.

Man begreift, wie wichtig die Entdeckung ist, daß sich ein Prozeß, der bisher nur als Folge einer besonderen Lebenstätigkeit angesehen wurde, auch durch rein chemische Reagentien herbeiführen läßt, und wenn dasselbe nicht bloß für die Seeigel, sondern auch für höhere Lebewesen bis zum Menschen hinauf gilt, welche sozialen Umwälzungen werden daraus folgen! Eine Frauenemanzipation, wie sie die heutigen Frauenrechtlerinnen nicht einmal träumen. Der Mann wird einfach überflüssig; ein Fläschchen, mit geschickt gemischten Chemikalien gefüllt, ersetzt ihn vollständig. Dabei kann noch die Vererbung viel rationeller betrieben werden, als jetzt, wo sie so vielen Zufälligkeiten unterworfen ist. Nicht lange und man findet, welche Mischung Knaben, welche Mädchen liefert, und da die ersteren vollkommen überflüssig sind, werden davon nur wenige Exemplare für die zoologischen Gärten erzeugt. Dann freilich wird auch der Wein überflüssig sein.

Von Pacific-Grove fuhr ich nach dem Seebade Santa Cruz, welches besonders dadurch bemerkenswert ist, daß eine große

Zahl von Badegästen nicht in Häusern, sondern in Leinwandzelten mit kleinen Leinwandfenstern wohnt, die wie Landwohnungen vermietet werden. Andere wohnen in kleinen Holzhäusern, welche auf Schiffen erbaut sind und in den seichten Buchten und ins Meer mündenden Flüssen bald da, bald dort hin gerudert werden können.

Überhaupt ist allenthalben die Kleinheit der fast ausschließlich aus Holz erbauten Häuser überraschend. In Berkeley gibt es viele Häuser, die lebhaft an das des Schnitzelbauern in der Umgegend von Graz erinnern, das sich dieser auf seinem kleinen Grunde selbst aus Holzbrettern gezimmert und geschnitzt hatte.

Dann sah ich mir noch die sogenannten big-trees an, deren Alter nach Jahrtausenden zählt. Ein allerdings nicht mehr lebender Stamm wird gezeigt, aus dessen Ringen man genau erkennen kann, wie viel Jahrtausende alt er wurde. Ich habe es wieder vergessen.

Die übrigen Wochentage außer Samstag und Sonntag waren der Arbeit gewidmet, aber doch auch keineswegs ohne jede Unterhaltung. Es gab viele Gesellschaften, darunter auch ein paar ganz feierliche. Bei einer derselben hatte mich mein Kollege, der mich abholen wollte, schon vorher mit echt englischer Sorgsamkeit für die Toilette ermahnt, evening-dress anzulegen. Als er eintrat, rief ich ihm entgegen: Bin ich nicht schön? Aber nein, o weh! Ich hatte das Stiefelputzen vergessen. Doch mein Kollege wußte Bescheid. Er führte mich in einen Raum im Souterrain, legte Rock, Weste und Manschetten ab, fand die erforderlichen Utensilien in einem Schranke und putzte mir eigenhändig mit Virtuosität die Stiefel. Dann trank er noch aus dem Glase, aus dem er früher Wasser auf die Wichse geträufelt hatte. Amerikanisch!

Auch Damen fehlten im geselligen Kreise nicht. Den Frauen der Berkeley-Professoren schlossen sich solche der Zugereisten an, ferner die Wirtin mit ihren liebenswürdigen Töchtern, von denen eine reizend sang, und andere Freundinnen. Unter solchen Verhältnissen werde ich öfters und wurde damals von einer noch nicht aufgezählten Krankheit, der Dichteritis, befallen. Da ich es schon bei den andern Krankheiten tat, so suche ich auch von ihrem Grade hier

einen Begriff zu geben und lasse eines ihrer Produkte hier folgen:

An meine Frau.

Soll ich mit fremden Fraun in der Ferne mich nicht unterhalten?
Sind sie von Allem, was hier, dir denn am ähnlichsten nicht?
Oft schon küßt' ich dein Bild auf Pappe: Oh so verzeihe.
Wenn ich dein Bild auch geküßt, fand ichs in Fleisch und in Blut!
Zudem bin Theoretiker ich von der Zeh' bis zum Scheitel
Und so vertrau', daß ich auch nur theoretisch geküßt.

Also Verzeihung von allen Seiten und auch wegen des Küssens. Es war nichts als eine poetische Notwendigkeit. Den möchte ich sehen, der mit bloßem Zusammenspazierengehen, Konversieren, Tennisspielen und Musizieren ein Gedicht fertig bringt!

Die Frauen sind übrigens in Kalifornien auffallend groß und stark gebaut und da auch die Bartentwicklung manchesmal nichts zu wünschen übrig läßt, mußte ich einem Kollegen recht geben, als er sagte: Finden Sie nicht, daß die Frauen in Amerika etwas Männliches haben? Dagegen wollte er mir nicht recht geben, als ich entgegnete: Und die Männer etwas Weibisches. Letzteres gilt übrigens nur bezüglich ihrer Bartlosigkeit; an Willensstärke, Mut, Unternehmungsgeist und Charakterfestigkeit stellen sie ihren Mann.

Zu den Dingen, die an Wochentagen Abwechslung brachten, gehörte auch der Besuch des amerikanischen Kriegsministers, der über San Franzisko nach den Philippinen ging. In seiner Begleitung soll Miß Roosevelt gewesen sein, sie kam mir aber nicht zu Gesicht. Der Kriegsminister besuchte eine Volksversammlung im großen Life-oak-Walde der Universität Berkeley. Da hätte man die naive Derbheit, Unternehmungslust und Begeisterung der Reden hören sollen! Nur ein Muster. Der Major von Berkeley stellte den Kriegsminister nach einer kurzen Ansprache mit folgenden Worten vor: Das ist Mr. Taft! ein guter Kriegsminister, ein guter Bürger und überhaupt in jeder Hinsicht ein guter, alter Kerl. Im Englischen klingt es noch vertraulicher: A good old fellow.

Ja, Amerika wird noch Großes leisten, ich glaube an dieses Volk, obwohl ich es bei einer Beschäftigung sah, die ihm am wenigsten gut lag, im theoretisch-physikalischen Seminare beim Integrieren und Differenzieren. Da schickten

sie sich ungefähr so an, wie ich beim Springen über die Gräben oder Herablaufen über die Hügel, die man auf dem Grunde der Berkeley-Universität so zahlreich passieren muß.

Endlich kam der Abend, wo ich zum letzten Male dem eintönigen Gesange der bebrillten Kellnerinnen lauschte. Als ich die letzte Omelette zerschnitten hatte, überblickte mein Kollege neben mir mit Falkenblick die Anzahl der Stücke und sagte: Zu jedem Stück ist noch eine halbe Minute Zeit. Dann packte mich die Eisenbahn und riß mich fort, zuerst nach Portland (zwei Nächte im Zug). Obwohl dort eine Ausstellung lockte, fuhr ich sofort durch nach Livingstone (wieder zwei Nächte im Wagen). Die Fahrt war wunderschön, wenn es nur immer Tag gewesen wäre! Das Herrlichste ist der Mount Shasta mit seinem hohen schneebedeckten Haupte in der subtropischen Vegetation. An manchem See fuhr ich vorüber, bergumragt, waldumkränzt, gegen den der Gmundner- und Attersee unbedeutend erscheinen. Hier sieht man kein Haus an dessen Ufer, ich weiß nicht einmal, ob alle schon Namen haben. Über den Yellowstonepark sage ich nichts. Er ist ein Wunder, wie es schwerlich in der Welt noch irgendwo existiert. Man lese das im Baedeker nach oder betrachte gute Bilder davon oder am besten, man sehe es sich in der Natur an, wenn man ausreichend Zeit, Geld und guten Humor hat. Aber man mache es nicht so wie ich. Man gehe anfangs Juni hin, wo die Hitze noch nicht so groß ist, und widme dazu 14 Tage oder besser einen Monat, daß man alles mit Muße ansehen kann und vom Staunen auch zum Genießen kommt.

Ich hatte mir zuviel des Guten aufgeladen. Jetzt sollte ich wieder vier Nächte in der Eisenbahn zubringen und war mit meiner Genußfähigkeit ebenso, wie mit meiner Wäsche zu Ende. Dazu die fürchterliche Hitze. Ich hatte immer ein Handtuch in der Hand, die man glücklicherweise in den amerikanischen Bahnen in beliebiger Menge bekommt, um mir den Schweiß abzuwischen. Ich begreife jetzt, was ein Schweißtuch ist. Zudem lieben es die Amerikaner, ihre Eisenbahnwagen hermetisch zu verschließen, nicht aus Furcht vor dem Luftzug, die sie nicht kennen, sondern vor dem Ruß. Die schönen Aussichtswagen ganz hinten, wo weniger Ruß ist, gibt es auf dieser Strecke nicht. Ich ließ einmal in mei-

nem Abteil, das mehr vorne war, längere Zeit das Fenster offen, wurde aber dann so schwarz, daß ich mich nicht wundern würde, wenn im künftigen Jahrhundert ein Gelehrter einmal die Hypothese aufstellte, die Neger seien dadurch so schwarz geworden, daß sie immer als Eisenbahnpersonal benutzt wurden.

Nun kehrte auch noch mein Magenkatarrh wieder. Man bekommt in dem Speisewagen zwar Wein, aber nur ungern; erst nach dem Essen, wenn die meisten Gäste, besonders die Damen, schon fortgegangen sind. Das erste, was man bekommt, ist ein Glas Eiswasser und ein Zettel, auf den man gleich alles, was man will, auf einmal aufschreiben muß. Nun dauert es eine Ewigkeit, bis nur der Zettel abgeholt wird und man sitzt mit vor Hitze vertrocknetem Gaumen immer neben dem Eiswasser. Ich unterlag der Versuchung (Engel wären erlegen) und trank von dem Gift.

Ja auf einmal bekam ich gar keinen Wein mehr. Das klärte sich so auf: Der ganze Staat Nord-Dakota ist abstinent und während der Zug durch denselben fährt, darf kein Wein verzapft werden. Ich protestierte: Was geht mich der Staat Nord-Dakota an! Ich will nichts weiter als nach Wien kommen. Führt mich meinetwegen durch das Land, wo der Pfeffer wächst! O, Pfeffer wird hier sehr viel angebaut, antwortete man mir. Zum Teufel! hier werden selbst unsere kräftigsten Flüche zuschanden. Freilich gegen Trinkgeld und noch mehr versteckt bekam ich doch Wein; aber er mußte unter der Hand bezahlt werden und durfte nicht auf der bill of fare stehen.

Die amerikanischen Bahnverwaltungen hängen gewöhnlich erst einen neuen Wagen an, wenn die vorhandenen gefüllt sind, und trotzdem haben die Züge enorme Länge. Die Einzelwagen haben Namen wie die Schiffe, sonst würde man sich gar nicht mehr zurechtfinden. Ich fuhr der Reihe nach in den Wagen Sant Jesabel, Pembina und Vernedal. Sie wimmeln von Publikum von allen Nationalitäten und Menschenrassen, die bei der großen Hitze oft etwas degagiert angekleidet sind. Ein Säugling lag immer vollkommen nackt auf dem Sammetfauteuil und erinnerte mich an die Bilder vom Christuskinde, das freilich in keinem Pullmancar lag. Ich wollte dies der Mutter als Schmeichelei sagen, aber wie

unschön klingt alles im Englischen: äs de tscheild tschises kreist!

Es ist ein Glück, daß ich nicht als Engländer geboren wurde. Ich hätte nie eine Braut heimgeführt. Man kann sich denken, daß ich bei der Liebeserklärung etwas verlegen war. „Der schaut drein, als müßt' er in den Hörsaal hinein" sagt Mephisto. Ja, wenn ich nur nichts weiter hätte müssen, als in den Hörsaal hinein, wenn nichts weiter als Frau Physik und Metaphysika vor mir gestanden wären! Aber vor mir stand ein liebliches, junges Mädchen. Da ging es schwer mit der Rede; doch als ich zum punktum saliens kam, da half mir die Weisheit und der gute Geschmack unserer Ururahnen, die für das höchste der Gefühle auch das wohlklingendste Wort gefunden haben, das Wort Liebe. Wie am Steinwayflügel die Musik, so regierte jetzt nicht ich die Sprache, sondern die Sprache riß mich hin und ich erzielte einen vollen Erfolg. Aber wenn ich in echt englischer Aussprache hätte sagen müssen: „Ei lowff ju", meine Auserkorene wäre davongelaufen, wie die Hühner vor dem Atemholen des sie lockenden kropfigen Steirers.

Die ganze bunte Menge der Fahrgäste muß nun abends in die Betten gedrängt werden. Die Einrichtung der amerikanischen Schlafwagen ist folgende: Durch die Mitte des ganzen Wagens läuft ein ziemlich schmaler Gang. Zu beiden Seiten sind gepolsterte Bänke, auf deren jeder zwei Personen sitzen können. Jeder Fahrgast bekommt eine solche Bank zugewiesen. Abends wird der Raum über je zwei auf derselben Seite des Ganges liegenden Bänken, die immer gegeneinander schauen, in zwei übereinanderliegende Betten verwandelt, die durch herabhängende Vorhänge gegen den Gang abgeschlossen sind. Die Längsrichtung der Betten ist parallel der Fahrtrichtung. Man kann wohl auch zwei übereinanderliegende Betten für sich haben — ein ganzes Kompartiment — das kostet aber das Doppelte. Da man keine Schublade hat, so muß man Nachtwäsche, Pantoffel und was man sonst braucht, in die Handtasche packen, die dann der Mohr ins Bett stellt. Dann hat man sich hinter dem Vorhange auszukleiden, im Bette selbst aber die Kleider und Handtasche unterzubringen und dann zu schlafen, ohne zu ersticken.

Jeder Raum hat nur eine kleine, durch ein feines Gitter bedeckte Öffnung, die ins Freie führt und wird bei heißem Wetter so dunstig, daß ich im Kostüme jenes Säuglings schlief, wodurch ich auch die Mühe des Auspackens der Wäsche ersparte. Einmal ließ ich ein ganzes Fenster bei Nacht offen, da sagte aber dann nach dem Aufstehen der Mohr zu mir: Herr Kollege.

Um Uhr, Geldtasche, Augengläser usw. nicht zu verlieren, gab ich in das weitmaschige Netz, den einzigen Aufbewahrungsort im ganzen Bettraume, zuerst den Hut und in diesen dann all die Kleinigkeiten. Der Mohr aber hängte den Hut beim Bettmachen immer oben in unerreichbarer Höhe auf und es war komisch, wie perplex er darüber war, daß ich im Bette den Hut brauchte.

Die kritischste Zeit ist nun die der Umwandlung der Bänke in die Betten. Man kann in den Bänken nicht mehr sitzen und auch das Bett ist noch nicht fertig. Ich flüchte mich in einen Waschraum; allein da bürstet ein Passagier Wolken Staubes aus seinen Kleidern, ein anderer spritzt beim Waschen Wasser nach allen Windrichtungen. Ich versuche den Salonwagen zu erreichen, der übrigens bei vielen Zügen fehlt; allein da müßte ich die Gänge von sieben bis acht Wagen passieren, alle mit Bettvorhängen zu beiden Seiten abgeschlossen, diese sind lebendig; aus ihrer Verborgenheit versetzt uns bald ein Arm, bald ein Fuß, bald ein weicherer Gegenstand einen Stoß. Zudem stolpert man fortwährend über die unten vorstehenden Gepäckstücke. Endlich finde ich Platz in einem Kompartiment, das noch unversehrte Bänke hat. Auf der anderen Seite des Ganges ist schon ein Bett, dessen Vorhang in steter Bewegung begriffen ist. Es hat doch etwas auf sich mit dem ewig Weiblichen. Beim Indextestieren in der Wiener Vorlesung sehe ich immer nur die Hände der Studenten, aber ich erkenne sofort jede Frauenhand. So war ich auch überzeugt, daß dieser Vorhang weibliche Glieder birgt und bald lüftete er sich auch, durch eine unvorsichtige Bewegung beim Auskleiden und ich sah, daß ich recht hatte.

Vielen Unbequemlichkeiten der Morgenstunden entging ich durch meine Gewohnheit, zeitlich aufzustehen. So war ich beim Anziehen und Waschen allein und rief den später sich

im Waschraume Drängenden die schon von Bismarck zitierten Worte aus Mozarts Entführung zu „Mich zu hintergeh'n, müßt ihr früh aufsteh'n".

Ich war durch die Hitze und den Ruß, durch Magenkatarrh und Durst schließlich so reisemüde geworden, daß ich nicht nur auf die Sonnenfinsternis verzichtete, sondern noch den Anschluß an den Kaiser Wilhelm II. zu gewinnen suchte, welcher mich am raschesten heimbrachte. Nun war aber gerade ein Streik der Telegraphisten ausgebrochen, infolgedessen wir sechs Stunden Verspätung hatten. Ich geriet darüber in Wut; aber da sollte man das Phlegma der Amerikaner sehen! Sie blicken den Schimpfenden fast mitleidig an, als ob sie sagen wollten, der gute Mann meint, das hülfe etwas. In meinem Falle sagte der Kondukteur kurz: Wir wollen keinen Zusammenstoß riskieren.

In Chicago hatte ich nur zwölf Minuten Zeit und sollte noch von der Canalstreet Union Station zur Nickelplate-Station gelangen. Mit Gepäck beladen eilte ich planlos hin und her. Zwei, die ich um Auskunft gebeten hatte, hatten nicht geantwortet. Da bemerkt dies eine junge Dame und fragt mich zuvorkommend, was ich wünsche. Sie kann mir freilich auch keine Auskunft erteilen, vielleicht verstand sie nicht einmal meine Frage, aber sie zeigt mir einen Schutzmann, den ich in meiner Aufregung, so groß er war, nicht bemerkt hatte. Als ich ihr nicht aus Schmeichelei, sondern aus vollem Herzen zurief: „You are an Angel", da seh' ich erst, es war Zug für Zug der Schutzengel vom pozzo di Verona. Sollte der Schutzengelglaube kein bloßes Märchen sein? Und wie paßt Märchenstimmung in die Hallen der Canalstreet Union Station in Chicago? Also fort vom Schutzengel zum Schutzmann, der mir rasch die gewünschte Auskunft erteilte, so daß ich noch rechtzeitig zum andern Bahnhof kam.

In New-York hatte ich noch eine Überraschung. Der schöne Pier, der von der Eisenbahn zur Überfuhr geführt hatte, war abgebrannt, und ich mußte, immer mit meinem Gepäck beladen, über verkohlte Holzstücke stolpern.

Trotz aller Hindernisse erreichte ich den Kaiser Wilhelm II. noch rechtzeitig. Als ich samt allem großen und kleinen Gepäck an Bord war, wie schlug da mein Herz freudig!

„Stimmet an die frohen Lieder,
Denn dem väterlichen Herd
Ist das Schiff nun zugekehrt
Und zur Heimat geht es wieder."

Die Rückfahrt war von dem herrlichsten Wetter begünstigt. Die gute Schiffskost stellte auch meinen Magen wieder vollständig her. Ich trank keinen Tropfen Wasser, auch nicht viel Bier, aber desto mehr edlen Rüdesheimer. Auf dem Schiffe ist das so günstig; wenn man ein wenig wackelt, schreibens alle der Schiffsbewegung zu.

Nun noch die winzige Eisenbahnfahrt von Bremen bis Wien, eine fesche Fahrt in einem Wiener Fiaker und ich bin zu Hause. Ja so eine Reise hat viel Interessantes und Großartiges, Kalifornien ist schön, der Mount Shasta ist herrlich, der Yellowstonepark wundervoll; aber weitaus das Schönste an der ganzen Reise, das ist doch der Moment, wo man wieder daheim ist.

Namenregister.

A.

B.

C.

D.

K.

L.

M.

N.

O.

Z.

